PLAN DE MANEJO AMBIENTAL DEL ACUÍFERO DEL SUR DEL TOLIMA

DEPARTAMENTO DEL TOLIMA

ETAPA 1 DE LA FASE DE DIAGNÓSTICO

NOVIEMBRE DE 2018

FUNDACIÓN PROFESIONAL PARA EL MANEJO INTEGRAL DE AGUA - PROAGUA

COMITÉ TÉCNICO

JORGE ENRIQUE CARDOSO RODRÍGUEZ
Director General

CARLOS ARTURO MORA GARCÍA
Subdirector de Planeación y Gestión Tecnológica

FERNANDO DÍAZ DÍAZ
Profesional Universitario Subdirección de Planeación y Gestión Tecnológica de CORTOLIMA
Supervisor del Contrato de Consultoría 754 de 2017.

EQUIPO TÉCNICO

MARY LOLY BASTIDAS ALZATE
Director proyecto

FERNANDO DAZA
Coordinación proyecto

MARÍA JANETH RESTREPO
Geóloga

PATRICIA GÓMEZ
Profesional SIG

SANDRA CRISTINA ROJAS
Profesional social

ANGELO CASTAÑO
Profesional ambiental

Apoyo trabajo de campo
María Helena Caicedo
Ronald González
Juan David Castaño
Jesika Rivero
Sebastian Morales
Manuel Agudelo
Heyner Amaya
Natalia Rodríguez
Helmer Grimaldo
Aldo Peñalosa
Iván Montaña
Cristian lozano
Edgar Castillo
Eduvino Skyner

TABLA DE CONTENIDO

1 INTRODUCCIÓN 1
2 MARCO NORMATIVO 2
3 LOCALIZACIÓN GENERAL DEL ACUÍFERO DEL SUR DE TOLIMA 3
4 GEOLOGÍA 6
4.1 Metodología 6
4.1.1 Evaluación de la información disponible 6
4.1.2 Interpretación de sensores remotos 6
4.1.3 Control de campo 7
4.1.4 Geología con fines de planificación ambiental de acuíferos a escala 1:25000. 7
4.1.5 Elaboración del informe 7
4.2 Generalidades del área 8
4.2.1 Marco Geológico e Hidrogeológico Regional 9
4.2.2 Cuaternario 24
4.3 Geología estructural 25
4.3.1 Falla prado 26
4.3.2 Falla Suarez 27
4.3.3 Falla La Bacava 27
4.3.4 Falla Cucuana 28
4.3.5 Sistema de fallas La Chusma 28
4.4 Geomorfología 28
5 MODELO HIDROGEOLÓGICO CONCEPTUAL 39
5.1 Hidrogeología regional 39
5.2 Hidrogeología Local 43
5.2.1 Parámetros Hidráulicos de las unidades Acuíferas del Grupo Honda 44
5.2.2 Zonas de recarga y descarga. 46
5.3 Calidad del agua subterránea 47
5.3.1 pH 48
5.3.2 Temperatura del agua 50

5.3.3 Conductividad eléctrica CE 52
6 VULNERABILIDAD INTRINSECA DE LOS ACUÍFEROS 55
7 NECESIDADES DE INFORMACIÓN Y CONOCIMIENTO DEL COMPONENTE HIDROGEOLÓGICO 57
8 CARACTERIZACIÓN CLIMATICA 58
8.1 Selección de la información....58
8.2 Red Meteorológica 58
8.3 Precipitación....62
8.3.1 Análisis exploratorio y confirmatorio de datos 63
8.3.2 Cálculo y análisis de datos faltantes (DF) 63
8.3.3 Análisis gráfico de precipitación de las series históricas. 65
8.3.4 Análisis descriptivo numérico de precipitación de las series históricas....69
8.3.5 Prueba de Normalidad....74
8.3.6 Análisis confirmatorio....75
8.3.7 Precipitación promedio mensual multianual. 77
8.3.8 Precipitación Anual....79
8.4 Temperatura Media....80
8.4.1 Análisis descriptivo numérico de Temperatura Media mensual....81
8.4.2 Comportamiento de la Temperatura media mensual por estación....82
8.4.3 Comportamiento de la Temperatura media mensual....83
8.4.4 Temperatura media Anual....86
8.5 Humedad Relativa 87
8.5.1 Análisis descriptivo numérico de Humedad Relativa 88
8.5.2 Humedad Relativa (HR) media 88
8.6 Brillo Solar....90
8.6.1 Análisis descriptivo numérico de Brillo Solar 90
8.6.2 Brillo Solar (BS) mensual medio 91
8.7 Dirección y Velocidad del viento 92
8.8 Evaporación....93
8.8.1 Análisis descriptivo numérico de Evaporación....94
8.8.2 Evaporación Total....95

8.9 Evapotranspiración Real 97
8.10 Balance Hidrológico A Largo Plazo 98
9 MODELACION HIDROLÓGICA 101
9.1 Selección de las estaciones hidroclimatológicas 101
9.2 Determinación del periodo común de registro 106
9.3 Determinación y cálculo de datos faltantes 107
9.3.1 Información hidroclimatológica 111
9.4 Modelación de caudales 112
9.4.1 Balances hídricos a partir de modelación hidrológica, modelo TETIS agregado 112
10 DIAGNOSTICO GENERAL DEL AREA FORMULADO POR ACTORES SOCIALES 130
10.1 Identificación de actores 130
10.1.1 Aliados Estratégicos 136
10.1.2 Actores Enlace 136
10.2 Talleres diagnostico participativo 142
10.2.1 Población 157
10.2.2 Poblaciones Indígenas: 158
10.2.3 Educación 160
10.2.4 Medios de transporte 161
10.2.5 Servicios públicos 161
10.2.6 Fuente energética para la cocción de alimentos 162
10.2.7 Sistemas productivos 163
10.2.8 Salud 166
10.2.9 Acontecimientos o Hechos Importantes 167
10.2.10 Ritos y Fiestas 167
10.2.11 Principales medios de comunicación 168
10.2.12 Líderes representativos de la comunidad 168
10.3 Identificación de problemas del recurso hídrico en el área objeto de estudio 169
10.3.1 Problemas identificados por la comunidad sobre el recurso hídrico en cada uno de los municipios área de influencia 175
10.3.1.2 Municipio De Purificación 177

10.3.1.3 Municipio De Natagaima 178
10.3.2 Perspectivas generales de los actores 183
10.3.3 Proyecciones de uso del recurso 184
10.4 Cartografía social generada por actores 185
11 INVENTARIO DE PUNTOS DE AGUA 244
11.1 Metodología. 244
11.2 Revisión de expedientes de concesiones de agua superficial 245
11.2.1 Municipio de Natagaima 246
11.2.2 Municipio de Coyaima. 249
11.2.3 Municipio de Prado. 251
11.2.4 Municipio de Saldaña 254
11.2.5 Municipio de Guamo 256
11.2.6 Municipio de Purificación 259
11.2.7 Municipio de Ortega 261
11.2.8 Municipio de Suarez 264
11.2.9 Municipio de San Luis 266
11.3 Cargue de base de datos de usuarios del agua. 269
11.3.1 Consolidado general encuestas superficiales y subterráneas por veredas. 276
11.3.2 Encuestas subterráneas persona natural. 277
11.3.3 Encuestas subterráneas persona jurídica 280
11.3.4 Encuestas superficiales persona natural 281
11.3.5 Encuestas Superficial Persona Jurídica Privada 282
11.3.6 Encuestas superficiales persona jurídica pública 283
11.4 METODOLOGÍA DEMANDA HÍDRICA 283
11.4.1 Demanda de agua por Uso Agrícola (DUA) 284
11.4.2 Demanda de agua por uso Pecuario (DUP) 285
11.4.3 Demanda de agua por Uso Doméstico (DUD) 285
11.5 Demanda de agua subterránea 286
11.5.1 Demanda de agua para Uso Agrícola (DUA) 286
11.5.2 Demanda de agua por uso Pecuario (DUP) 287
11.5.3 Demanda de agua para Uso Doméstico (DUD) 288

11.5.4 Demanda Total (DT) 289
11.6 Demanda de agua superficial 290
11.6.1 Demanda de Agua para Uso Agrícola (DUA) 290
11.6.2 Demanda de Agua para uso Pecuario (DUP) 291
11.6.3 Demanda de Agua para uso Doméstico (DUD) 292
11.6.4 Demanda Total de agua (DT) 292
12 COBERTURAS ACTUALES DE LA TIERRA IDENTIFICADOS EN LA CUENCA 294
12.1 Interpretación de imágenes satelitales. 294
12.1.1 Leyenda Corine Land Cover. 296
12.1.2 Pre-procesamiento de imágenes satelitales. 298
12.1.3 Diseño de comprobación en campo de las coberturas. 299
12.2 Cartografía temática 301
12.2.1 Segmentación 301
12.2.2 Clasificación supervisada 302
12.2.3 Interpretación visual y edición vectorial 304
12.2.4 Base de datos geográfica resultante. 304
12.3 Descripción de la cobertura 307
13 ACTUALIZACIÓN DEL MODELO HIDROGEOLÓGICO MODLFLOW 308
13.1 Introducción. 308
13.2 Objetivo 308
13.3 Justificación 308
13.4 Localización del área de estudio 309
13.5 Base teórica de la modelación matemática de aguas subterráneas 311
13.5.1 Sistema Acuífero 311
13.5.2 Balance Hidrogeológico 311
13.5.3 Modelación de un sistema acuífero 312
13.6 Construcción del modelo MODFLOW 312
13.7 Paquetería de MODFLOW 313
13.7.1 Límite de área de estudio 313
13.7.2 Modelo digital de niveles estáticos 315
13.7.3 Modelo de precipitación 316

13.7.4 Registro litológico pozo Chenche Soleado 317
13.8 Resultados 319
14 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 321
14.1 Conclusiones 321
14.2 Recomendaciones 324
15 BIBLIOGRAFÍA 325

LISTADO DE TABLAS

Tabla 1. Resumen de clasificación geomorfológica según metodología Zinck (2012), del acuífero Honda, ubicado al sur del Tolima. 30
Tabla 2. Características Geoeléctricas de las unidades identificadas en el Grupo Honda, para la zona del acuífero del Sur del Tolima. 45
Tabla 3. Resumen de los Parámetros Hidráulicos de los acuíferos del Sur del Tolima 46
Tabla 4. Calidad de fuente de Agua en relación al pH 48
Tabla 5. Rangos de pH y distribución por área 48
Tabla 6. Clasificación de aguas subterráneas por temperatura 50
Tabla 7. Rangos de clasificación de aguas subterráneas por Temperatura. 50
Tabla 8. Conductividad según la calidad del agua 52
Tabla 9. Conductividad según la salinidad del agua 52
Tabla 10. Rasgos de CE Presentes en el área de estudio 53
Tabla 11. Parámetros para evaluar Vulnerabilidad intrínseca a la contaminación 56
Tabla 12. Periodo común de registro de las Estaciones Climatológicas - Precipitación. 59
Tabla 13. Periodo común de registro de las Estaciones Climatológicas – Brillo Solar, Humedad relativa, Temperatura media y Evaporación. 60
Tabla 14. Información de las Estaciones Climatológicas Seleccionadas. 61
Tabla 15. Datos Faltantes de las Series de Precipitación Total Mensual. 64
Tabla 16. Descriptivos Numéricos de precipitación (1990 - 2011). 71
Tabla 17. Datos Atípicos Extremos de las Series de Precipitación Mensual (1990 - 2011). 73
Tabla 18. Prueba de Normalidad Shapiro Wilk para Series de Precipitación Mensual (1990 - 2011). 75
Tabla 19. Análisis Confirmatorio prueba no paramétrica U Mann Whitney. 76
Tabla 20. Datos Precipitación Media Mensual (mm) (1990-2011). 79
Tabla 21. Descriptivos Numéricos Temperatura Media (1990 - 2011). 81
Tabla 22. Datos de Temperatura media mensual (°C) (1990-2011). 83
Tabla 23. Datos Temperatura Media Mensual (°C) (1990-2011). 86
Tabla 24. Descriptivos Numéricos Humedad Relativa (1990 - 2011). 88
Tabla 25. Datos de Humedad Relativa media mensual (%) (1990-2011). 89
Tabla 26. Descriptivos Numéricos Brillo Solar (1990 - 2011) 91
Tabla 27. Datos de Brillo Solar medio mensual (h) (1990-2011) 92
Tabla 28. Descriptivos Numéricos Evaporación (1990 - 2011). 94
Tabla 29. Datos de Evaporación Total mensual (mm) (1990-2011). 96
Tabla 30. Información de las estaciones climatológicas seleccionadas 105
Tabla 31. Periodo común de registro de las Estaciones Hidroclimatológicas. 106
Tabla 32. Datos faltantes de las series de precipitación Total Diaria 107
Tabla 33. Estaciones utilizadas para la fase de modelación 115
Tabla 34. Valores estadísticos de calibración del modelo TETIS versión agregada. 116
Tabla 35. Parámetros de calibración del modelo TETIS versión agregada. 116
Tabla 36. Valores estadísticos de calibración del modelo TETIS versión agregada. 118
Tabla 37. Parámetros de calibración del modelo TETIS versión agregada. 119

Tabla 38. Valores estadísticos de validación del modelo TETIS versión agregada. 121
Tabla 39. Valores estadísticos de validación del modelo TETIS versión agregada. 124
Tabla 40. Estaciones utilizadas para la fase de validación quebrada Hilarco y Guaguarco... 126
Tabla 41. Valores estadísticos de validación del modelo TETIS versión agregada. 127
Tabla 42. Valores estadísticos de validación del modelo TETIS versión agregada. 128
Tabla 43. Identificación de funciones y roles de cada actor. 130
Tabla 44. Clasificación de Actores Institucionales..... 137
Tabla 45. Clasificación de actores comunitarios. 139
Tabla 46. Clasificación de actores Gremios..... 140
Tabla 47. Clasificación de actores académicos. 141
Tabla 48. Convocatoria Cartelera. 142
Tabla 49. Convocatorias por municipios..... 143
Tabla 50. Talleres de diagnóstico participativo - Fase Diagnóstico..... 145
Tabla 51. Metodología utilizada con las comunidades en los talleres de diagnóstico. 146
Tabla 52. Formato guía del taller de Diagnostico Participativo..... 147
Tabla 53. Talleres ejecutados con las comunidades - Fase Diagnostico. 154
Tabla 54. Comunidades indígenas identificadas por actores en el área del proyecto. 159
Tabla 55. Cobertura de servicios públicos identificada en área de estudio. 162
Tabla 56. Medios de comunicación que se encuentran en la zona de estudio - Referenciados por las comunidades. 168
Tabla 57. Resultado de los talleres de diagnóstico participativo realizados en la zona de estudio. 169
Tabla 58. Relación causas y efectos de la problemática detectada con los actores en los talleres de diagnóstico. 173
Tabla 59. Porque se contamina y efectos. 175
Tabla 60. Problemas identificados por los actores del Municipio de Coyaima. 175
Tabla 61. Problemas identificados por los actores en el Municipio de Purificación. 177
Tabla 62. Problemas identificados por los actores en el Municipio de Natagaima..... 178
Tabla 63. Problemas identificados por los actores en el Municipio de Suárez. 179
Tabla 64. Problemas identificados por los actores en el Municipio de Prado. 180
Tabla 65. Problemas identificados por los actores en el Municipio de Ortega. 181
Tabla 66. Problemas identificados por los actores en el Municipio de Saldaña. 181
Tabla 67. Problemas identificados por los actores en el Municipio del Guamo. 182
Tabla 68. Cartografía social generada por los actores en los Municipios de Coyaima, Natagaima. Y Ortega 185
Tabla 69. Cartografía social generada por actores del Municipio de Prado. 213
Tabla 70. Cartografía social generada por los actores del Municipio de Purificación..... 219
Tabla 71. Cartografía social generada por actores de los Municipios de Saldaña y Suárez... 234
Tabla 72. Cartografía social generada por actores del Municipio del Guamo..... 243
Tabla 73. Número de expedientes por municipio y fecha de revisión. 245
Tabla 74. Información faltante de los Expedientes revisados del Municipio Natagaima..... 247
Tabla 75. Componentes del sistema de Abastecimiento, Municipio de Natagaima. 248
Tabla 76. Información faltante de los Expedientes revisados del Municipio de Coyaima 249
Tabla 77. Componentes del sistema de Abastecimiento del Municipio de Coyaima. 251

Tabla 78. Información faltante de los Expedientes revisados del Municipio de Prado. 252
Tabla 79. Componentes del sistema de Abastecimiento del Municipio de Prado. 253
Tabla 80. Información faltante de los Expedientes revisados del Municipio de Saldaña. 254
Tabla 81. Componentes del sistema de Abastecimiento 256
Tabla 82. Información faltante de los Expedientes revisados del Municipio Guamo. 257
Tabla 83.Componentes del sistema de Abastecimiento. 258
Tabla 84. I Información faltante de los Expedientes revisados del Municipio de Purificación. 259
Tabla 85. Componentes del Sistema de Abastecimiento del Municipio de Purificación. 261
Tabla 86.Información faltante de los Expedientes revisados del Municipio Ortega. 262
Tabla 87. Componentes del Sistema de Abastecimiento. 264
Tabla 88. Información faltante de los Expedientes revisados del Municipio de Suarez. 264
Tabla 89. Componentes del Sistema de Abastecimiento del Municipio de Suarez. 266
Tabla 90. Información faltante de los Expedientes revisados del Municipio de San Luis. 267
Tabla 91. Componentes del sistema de Abastecimiento del Municipio de San Luis 268
Tabla 92. Encuestas subterráneas fuente principal de abastecimiento. 269
Tabla 93. Tipo de fuente superficial. 270
Tabla 94. Usos del agua subterránea. 270
Tabla 95. Usos del agua superficial. 271
Tabla 96. Profundidad 272
Tabla 97. Potencial de Hidrogeno 272
Tabla 98. Conductividad. 273
Tabla 99. Temperatura (°C). 274
Tabla 100. Material de revestimiento de aljibes o pozos. 274
Tabla 101. Nivel estático del agua en los aljibes o pozos. 275
Tabla 102. Encuestas municipio de Natagaima 276
Tabla 103. Encuestas municipio de Prado 277
Tabla 104. Encuestas municipio de Ortega 277
Tabla 105. Encuestas municipio de Purificación 277
Tabla 106. Encuestas persona natural Natagaima 278
Tabla 107. Encuestas persona natural Coyaima 279
Tabla 108. Encuestas persona natural Ortega 280
Tabla 109. Encuestas persona natural Prado 280
Tabla 110. Encuestas persona natural Purificación 280
Tabla 111. Encuestas persona jurídica Natagaima 280
Tabla 112. Encuestas persona jurídica Coyaima 281
Tabla 113. Encuestas persona jurídica Purificación 281
Tabla 114. Encuestas persona natural Natagaima 282
Tabla 115. Encuestas persona jurídica Natagaima 282
Tabla 116. Encuestas persona jurídica Coyaima 283
Tabla 117. Encuestas persona jurídica Natagaima 283
Tabla 118. Encuestas persona jurídica Coyaima 283
Tabla 119. Módulos de consumo para uso pecuario. 285
Tabla 120. Valores de dotación bruta máxima en l/hab-día 286

Tabla 121. Demanda Agrícola por Municipio 287
Tabla 122. Demanda Pecuaria por Municipios 288
Tabla 123. Demanda Doméstica por Municipios 288
Tabla 124. Demanda total por Municipios 289
Tabla 125. Demanda total por Sectores 290
Tabla 126. Demanda agrícola de agua superficial por municipio. 291
Tabla 127. Demanda pecuaria de agua superficial por municipio 291
Tabla 128. Demanda doméstica de agua superficial por municipio 292
Tabla 129. Demanda Total de agua superficial por municipio 292
Tabla 130. Demanda Total de agua superficial por Sector. 293
Tabla 131. Descripción técnica. 294
Tabla 132. Relación de las imágenes adquiridas. 295
Tabla 133. Leyenda nacional de coberturas bajo la metodología Corine Land Cover. 297
Tabla 134. Información de la temática disponible. 301
Tabla 135. Área clasificada por nivel de detalle. 305
Tabla 136. Área clasificada por cobertura. 305
Tabla 137. Balance hidrogeológico 312
Tabla 138. Unidades estratigráficas 318

LISTADO DE FIGURAS

Figura 1. Localización del Acuífero del Sur de Tolima 4
Figura 2. Esquema de las actividades desarrolladas para Geología. 7
Figura 3. Ubicación de la provincia hidrogeológica de Valle Alto del Magdalena. 8
Figura 4. Sistemas acuíferos identificados en la zona de estudio. 10
Figura 5. Mapa Geológico Regional a escala 1:100.000 13
Figura 6. Modelo integrado de evolución Tectónica del VSM. 27
Figura 7. Diagrama de flujo para la construcción modelo hidrogeológico conceptual 40
Figura 8. Informes de apoyo analizados 43
Figura 9. Corte Esquemático interpretativo del modelo Hidrogeológico inicial de Acuisur… 47
Figura 10. Mapa de distribución de valores de pH para el Acuífero del Sur del Tolima 49
Figura 11. Mapa de distribución de valores de temperatura para el Acuífero del Sur del Tolima. 51
Figura 12. Distribución de valores de conductividad eléctrica 54
Figura 13. Esquema Metodología GOD. 55
Figura 14. Estaciones Meteorológicas. 62
Figura 15. Histogramas de las series de precipitación Total Mensual (1990 - 2011). 66
Figura 16. Diagrama de caja de las series de precipitación Total Mensual (1990 - 2011). 68
Figura 17. Diagrama de Caja 72
Figura 18. Distribución de la precipitación media mensual multianual (mm) (1990 – 2011)… 78
Figura 19. Comportamiento de la Precipitación Media Mensual (mm) (1990-2011). 79
Figura 20. Distribución Espacial de la Precipitación Anual (mm) (1990 – 2011). 80
Figura 21. Comportamiento de la Temperatura media mensual interanual por estación (°C) (1990-2011). 83
Figura 22. Distribución de la Temperatura media mensual (°C) (1990-2011). 85
Figura 23. Comportamiento de la Temperatura Media Mensual (°C) (1990-2011). 86
Figura 24. Distribución de la Temperatura media anual (°C) (1990-2011). 87
Figura 25. Comportamiento de la Humedad Relativa media mensual (%) (1990-2011). 90
Figura 26. Comportamiento del Brillo Solar medio mensual (h) (1990-2011) 92
Figura 27. Rosa de los vientos. Estación Anchique (1990 - 2011) 93
Figura 28. Comportamiento de la Datos de la Evaporación Total mensual (mm) (1990-2011).96
Figura 29. Especialización de la evapotranspiración real Anual (mm/año). 98
Figura 30. Balance Hidrológico a largo Plazo (mm/año) 100
Figura 31. Mapa de localización de estaciones meteorológicas e hidrológicas con registros de precipitación, temperatura y caudal ubicadas en las cuencas hidrográficas ubicadas al interior del Acuífero del Sur. 103
Figura 32. Mapa de distribución espacial de las estaciones meteorológicas e hidrológicas con registros de precipitación, temperatura y caudal ubicadas en las cuencas hidrográficas ubicadas al interior del Acuífero del Sur "polígonos de Thiessen" 104
Figura 33. Conceptualización vertical del modelo hidrológico de Tanques. 109
Figura 34. Mapa de cuencas hidrográficas Acuífero del sur. 113

Figura 35. Mapa de cuencas hidrográficas y red de drenajes ubicado en el área del Acuífero del sur..... 114
Figura 36. Hidrógramas de calibración de caudales para la estación Anchique, modelo TETIS versión agregada. 117
Figura 37. Hidrógramas de flujo superficial y gravitación superficial, modelo TETIS versión agregada. 118
Figura 38. Hidrógramas de flujo base, interflujo y escorrentía superficial, modelo TETIS versión agregada. 118
Figura 39. Hidrogramas de calibración de caudales para la estación Anchique, modelo TETIS versión agregada. 119
Figura 40. Hidrogramas de flujo superficial y gravitación superficial, modelo TETIS versión agregada. 120
Figura 41. Hidrogramas de flujo base, interflujo y escorrentía superficial, modelo TETIS versión agregada. 120
Figura 42. Hidrogramas de validación de caudales para la estación Anchique, modelo TETIS versión agregada. 122
Figura 43. Hidrogramas de flujo superficial y gravitación superficial, modelo TETIS versión agregada. 122
Figura 44. Hidrogramas de flujo base, interflujo y escorrentía superficial, modelo TETIS versión agregada. 122
Figura 45. Curva de duración de caudales Estación Anchique. 123
Figura 46. Hidrogramas de validación de caudales para la estación Purificación 1, modelo TETIS versión agregada..... 124
Figura 47. Hidrogramas de flujo superficial y gravitación superficial, modelo TETIS versión agregada 125
Figura 48. Hidrogramas de flujo base, interflujo y escorrentía superficial, modelo TETIS versión agregada. 125
Figura 49. Curva de duración de caudales Estación Anchique. 126
Figura 50. Hidrogramas de validación de caudales para la estación Purificación 1, modelo TETIS versión agregada..... 127
Figura 51. Curva de duración de caudales Estación Anchique. 128
Figura 52. Hidrogramas de validación de caudales para la estación Purificación 1, modelo TETIS versión agregada..... 129
Figura 53. Curva de duración de caudales Estación Anchique. 129
Figura 54. Mapeo de actores realizado en la fase de aprestamiento del Proyecto Acuífero Sur del Tolima..... 136
Figura 55. Árbol de problemas 148
Figura 56. Participantes en los talleres de diagnóstico participativo 156
Figura 57. Número de habitantes por género, que habitan en el área del Acuífero Sur del Tolima. 157
Figura 58. Rangos de edad por categoría de edades. 158
Figura 59. Comunidades Indígenas de la Comunidad Pijao identificadas en el área de estudio. 160
Figura 60. Niveles educativos que identifican las comunidades, en el área del proyecto. 160

Figura 61. Relación porcentual de los medios de transporte utilizados por la comunidad. .. 161
Figura 62. Cobertura de servicios públicos..... 162
Figura 63. Fuente energética para la cocción de alimentos en el área del Acuífero..... 163
Figura 64. Sistemas productivos agrícolas..... 163
Figura 65. Sistemas productivos frutícolas en el área de influencia del Acuífero 164
Figura 66. Sistemas productivos pecuarios en el área de influencia del Acuífero. 165
Figura 67. Entidades prestadoras del servicio de salud en el área de influencia. 166
Figura 68. Usos de las concesiones según listado maestro del Municipio de Natagaima. 247
Figura 69. Usos según visita técnica de seguimiento, Municipio de Natagaima. 248
Figura 70. Usos de la concesión según listado maestro del Municipio de Coyaima. 250
Figura 71. Usos según visita técnica de seguimiento, del Municipio de Coyaima. 250
Figura 72. Usos de la concesión según listado maestro del Municipio de Prado 252
Figura 73. Usos según visita técnica de seguimiento del Municipio de Prado. 253
Figura 74. Usos de las concesiones según listado maestro del Municipio de Saldaña..... 255
Figura 75. Usos según visita técnica de seguimiento del Municipio de Saldaña. 255
Figura 76. Uso de la concesión Según el Listado Maestro del Municipio Guamo. 257
Figura 77. Uso de la concesión Según Visita de Seguimiento del Municipio de Guamo..... 258
Figura 78. Usos de la concesión según listado Maestro del Municipio de Purificación..... 260
Figura 79.Usos según Visita de Seguimiento del Municipio de Purificación. 260
Figura 80. Usos de la Concesiones según listado Maestro del Municipio Ortega. 263
Figura 81. Usos según visita de Seguimiento del Municipio Ortega. 263
Figura 82. Usos de la Concesiones según listado Maestro del Municipio de Suarez. 265
Figura 83. Usos según visita de seguimiento del Municipio de Suarez. 265
Figura 84. Usos de las concesiones según listado maestro del Municipio de San Luis..... 267
Figura 85. Usos según visita técnica de seguimiento del Municipio de San Luis. 268
Figura 86. Tipo de fuente superficial. 270
Figura 87. Uso del agua subterránea. 271
Figura 88. Usos del agua superficial. 271
Figura 89. Profundidad de aljibes. 272
Figura 90. Potencial de hidrogeno (pH). 273
Figura 91.Temperatura 274
Figura 92. Lámina de agua. 275
Figura 93. Material de revestimiento de aljibes o pozos. 275
Figura 94. Comportamiento de la Demanda Agrícola por Municipios. 287
Figura 95. Comportamiento de la Demanda Pecuaria por Municipios. 288
Figura 96. Comportamiento de la Demanda Doméstica por Municipios. 288
Figura 97. Comportamiento de la Demanda total por Municipios. 289
Figura 98. Comportamiento de la Demanda total por Sectores..... 290
Figura 99. Comportamiento de la Demanda agrícola de agua superficial por municipio. 291
Figura 100. Comportamiento de la Demanda pecuaria de agua superficial por municipio .. 291
Figura 101. Comportamiento de la Demanda doméstica de agua superficial por municipio.292
Figura 102. Comportamiento de la Demanda Total de agua superficial por municipio 292
Figura 103. Comportamiento de la Demanda Total de agua superficial por Sector..... 293
Figura 104. Imágenes satelitales. 295

Figura 105. Generación de mosaicos. 298
Figura 106. Puntos de campo. 299
Figura 107. Zoom en segmentación de mosaico, Embalse triangulo del sur, municipio de Coyaima 302
Figura 108. Clasificación supervisada en el acuífero del sur del Tolima 303
Figura 109. Criterios topológicos utilizados en la metodología Corine land cover Colombia 304
Figura 110. Estructura del archivo. 305
Figura 111. Uso del suelo y cobertura de La Tierra Acuífero Sur del Tolima 307
Figura 112. Localización acuífero sur de Tolima 309
Figura 113. Localización área de interés del modelo ModFlow 310
Figura 114. Diferencias finitas en una celda y su flujo asociado 312
Figura 115. Área de estudio para la construcción del modelo 314
Figura 116. Área de inventario de usuarios 314
Figura 117. Modelo digital niveles estáticos 315
Figura 118. Abatimientos en la zona de estudio 316
Figura 119. Modelo de precipitación anual 317
Figura 120. Ubicación de punto de muestreo pozo Chenche Soleado 317
Figura 121. Perfil litológico pozo Chenche Soleado 318
Figura 122. Niveles estáticos y comportamiento de flujo 319
Figura 123. Líneas equipotenciales y dirección de flujo 320

LISTADO DE FOTOS

Fotografía 1. Niveles de areniscas líticas con grava fina suprayacendo..... 15158
Fotografía 2. Meteorización esferoidal de areniscas y areniscas conglomeráticas..... 15
Fotografía 3. Cerros residuales modelados en areniscas y areniscas conglomeráticas 16
Fotografía 4. Intercalaciones de limolitas y arcillolitas 17
Fotografía 5. Contacto concordante entre niveles de arcillolitas y limolitas 18
Fotografía 6. Afloramiento a borde de carretera en la margen oriental de la vía Castilla-Saldaña..... 18
Fotografía 7. Afloramiento al sur del municipio de Natagaima..... 19
Fotografía 8. Afloramiento a borde de carretera en la margen derecha del Río Magdalena.... 20
Fotografía 9. Afloramiento a borde de carretera cerca de la confluencia entre los ríos Saldaña y Magdalena..... 21
Fotografía 10. Imagen de la sucesión sedimentaria observada desde el escarpe de la falla Prado 22
Fotografía 11. Collage en que se muestran las variaciones de granulometría y composición de las areniscas identificadas en la zona 24
Fotografía12. Escarpe de la Falla Prado que pone en contacto la sucesión sedimentaria cretácica del valle superior del Magdalena 30
Fotografía 13. Relieve colinado desarrollado por el Grupo Honda 31
Fotografía 14. Valle coluvio aluvial típico de la zona de estudio, ... 32
Fotografía 15. Imagen de una zona al sur de Natagaima 33
Fotografía 16. Imagen tomada en la margen derecha del río Magdalena 34
Fotografía 17. Primer plano de orillar identificado en el Río Cucuana 35
Fotografía 18. Terraza aluvial cerca de la confluencia de los ríos Saldaña y Magdalena 36
Fotografía 19. Imagen de detalle de los depósitos del abanico Guamo-Espinal 37
Fotografía 20. Artesanías Vereda la Chamba Municipio del Guamo 158
Fotografía 21. Viviendas rurales Corregimiento de Castilla Municipio de Coyaima..... 158

ANEXOS

Anexo 1. Actas de campo del componente de Geología
Anexo 2. Planchas Geología 1:25.000 Acuífero Honda-Sur de Tolima
Anexo 3. Sistema de Información Geográfica SIG

1 INTRODUCCIÓN

Muchos de los problemas asociados a la disponibilidad de agua se fundamentan en el desconocimiento, frente a la forma de cómo se usa el recurso y la cantidad de agua que se puede sustraer de un cuerpo de agua en una franja determinada. Los cuerpos de agua son muy sensibles a circunstancias de oferta limitada, alta demanda o a la conjugación de ambos factores, lo cual ocurre cada vez con más frecuencia en muchas zonas del país, en las cuales hay recursos de agua subterránea que podrían utilizarse para suplir necesidades de agua para diferentes usos.

Sin embargo, la presencia, distribución y disponibilidad de agua subterránea en cualquier región, dependerá principalmente de las características hidroclimáticas de la zona; sus características geológicas, límites, los datos existentes y los medidos, adicionalmente de los recursos económicos y técnicos disponibles.

La necesidad de realizar estudios de aguas subterráneas se ha venido incrementando debido a la disminución en la oferta y calidad del agua de las corrientes hídricas superficiales, como consecuencia, principalmente, del crecimiento de la población y de la contaminación, sumados a la variabilidad climática que incide sobre la distribución espacial y temporal de la misma.

Fenómenos como el Niño y la Niña han modificado de manera extrema los ciclos de lluvias y veranos, generando inundaciones en una época y sequias en la otra, lo cual conlleva a revisar, la forma de administrar y concesionar los usos del recurso hídrico, buscando mayor eficiencia en la distribución en épocas de crisis.

Con el desarrollo del presente documento, se busca elaborar una evaluación preliminar o diagnóstico, sobre la existencia, estado y usos actuales de los acuíferos presentes en El Sur del Tolima, basados en campaña de campo para generación de cartografía geológica de semidetalle a escala 1:25.000, censo e inventario de puntos Hidrogeológicos y una revisión e interpretación de información secundaria

2 MARCO NORMATIVO

En Colombia, la Constitución Política consagra en el Título I, Capítulo III, los Derechos Colectivos y del Ambiente y con ello reafirma, de un lado y sustenta por otra parte, la normatividad que, en materia de agua, se requiere para garantizar la sostenibilidad de este bien, a nivel macro seis normas direccionan el que hacer nacional al respecto (Asamblea Nacional Constituyente, 1991):

- **Decreto Ley 2811** de 1974: Por el cual se dicta el Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente.
- **Decreto 1541 de 1978**: Por el cual se reglamenta la parte III del libro II del Decreto-Ley 2811 de 1974, en relación con las aguas no marítimas y de las normas relacionadas con el recurso agua en todos sus estados.
- **Decreto 3930 de 2010**: Por el cual se reglamenta parcialmente el Título I de la Ley 9ª de 1979, así como el Capítulo II del Título VI -Parte III- Libro II del Decreto-ley 2811 de 1974 en cuanto a usos del agua y residuos líquidos y se dictan otras disposiciones. Que la Constitución Política de Colombia en sus artículos 79 y 80 establece que es deber del Estado proteger la diversidad e integridad del ambiente, conservar las áreas de especial importancia ecológica y fomentar la educación ambiental para garantizar el derecho de todas las personas a gozar de un ambiente sano y planificar el manejo y aprovechamiento de los recursos naturales, para garantizar su desarrollo sostenible, su conservación, restauración o sustitución; debiendo prevenir y controlar los factores de deterioro ambiental, imponer las sanciones legales y exigir la reparación de los daños causados.
- **Ley 99 de 1993**: Por la cual se crea el Ministerio de Ambiente, se reordena el sector público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables, se organiza el Sistema Nacional Ambiental –SINA- y se dictan otras disposiciones.
- **Ley 373 de 1997**: Todo plan ambiental regional y municipal debe incorporar obligatoriamente un programa para el uso eficiente y ahorro del agua.
- **Decreto 155 de 2004**: Por medio de este decreto se reglamenta el artículo 43 de la Ley 99 de 1993 sobre tasas por utilización de aguas y se adoptan disposiciones.

Un recorrido por la normatividad actualmente vigente en materia de gestión integral del recurso hídrico se sintetiza en la Tabla 3.1 (MAVDT, 2011). Al respecto vale la pena destacar que, si bien el desarrollo normativo ha sido importante, sigue siendo perentoria la necesidad de establecer guías metodológicas que proporcionen claridad en términos de procedimientos a seguir y orienten una adecuada aplicación de la norma.

3 LOCALIZACIÓN GENERAL DEL ACUÍFERO DEL SUR DE TOLIMA

El Acuífero del Sur del Tolima se localiza al sur del departamento, entre los municipios de Natagaima, Coyaima, Ortega, San Luis, Saldaña, Guamo, Prado, Purificación y Suarez. Tiene un área de 139756,186 ha. Por la zona transitan el río Grande de la Magdalena y el río Saldaña. En promedio la altura sobre el nivel del mar es de 400 m.s.n.m, con temperaturas que van desde los 26°C a los 30°C (Figura 1).A continuación, se hace una breve descripción de cada uno de los municipios que hacen parte de la zona en estudio:

- NATAGAIMA: municipio ubicado al sur del departamento del Tolima, Colombia, a orillas del río Magdalena. Altitud 326 msnm. Con una población de 2.574 habitantes. (Alcaldía de Natagaima-Tolima, 2018). Área total del municipio es de 852,72 km² y el área dentro del acuífero es de 309,27 km².

- COYAIMA: su cabecera municipal se encuentra a 392 m.s.n.m. Cuenta con una población de 28.379 habitantes. Su actividad económica se estructura en los sectores primario (agricultura, ganadería, minería y otras actividades extractivas), secundario (actividades manufactureras) y terciario (comercio, servicios sociales-comunales - personales, actividad financiera). (Alcaldía de Coyaima-Tolima, 2018). Área total del municipio es de 674,72 km² y el área dentro del acuífero es de 448,34 km².

- ORTEGA: El municipio tiene una extensión de 945,92 Km² de los cuales 710,41 Km² están en una zona cálida (310-1000 msnm). Cuenta con una población de 46.000 habitantes. Su economía se viene desarrollando a través de la Agricultura y la Ganadería siendo el segundo productor en yuca siguiendo a esta el maíz, el plátano, el algodón, cacao, hortalizas, sorgo, frutales, arroz, café y caña de azúcar. (Alcaldía de Ortega-Tolima, 2018). Dentro del acuífero tiene un área de 55,18 km².

- PRADO: El Municipio se encuentra en su mayor parte en una región Plana ondulada, ubicada por debajo de los 1000 metros sobre el nivel del mar y se extiende sobre la margen derecha del río Magdalena. Posee una población de 7.607 habitantes. Su actividad económica se basa en Principalmente del Sector Agropecuario; siendo este el que más puestos de Trabajo Ofrece entre temporales y fijos. Los cultivos de arroz, maíz, plátano, banano, café, sorgo, algodón, frutales, cítricos, la pesca, la avicultura, la piscicultura y la ganadería entre otros son los que más proveen ingresos a los habitantes. (Alcaldía de Prado-Tolima, 2018). Área total del municipio es de km² y el área dentro del acuífero es de 1108,10 km².

- PURIFICACIÓN: cuenta con una extensión de 407,76 km² y una población de 30.000. Su economía se basa en agricultura de arroz, plátano, maíz, algodón y yuca. La altura de la su cabecera municipal es de 329 m.s.n.m. (Alcaldía de Purificación-Tolima, 2018). El área dentro del acuífero es de 239,19 km².

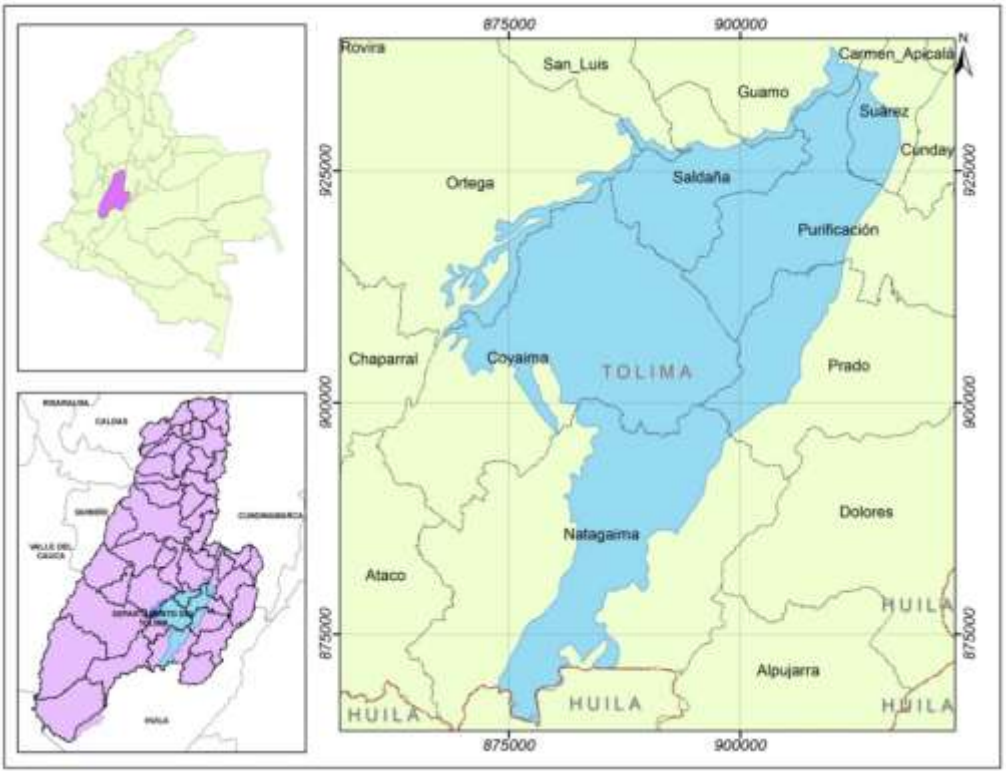
- SALDAÑA: Se encuentra ubicado en la llanura del Tolima, al sudeste del departamento. Cuenta con una altitud de 400 m.s.n.m y una población 19.000 habitantes. Su principal actividad económica es el cultivo de arroz. (Alcaldía de Saldaña-Tolima, 2018). Área total del municipio es de 197,88 km² y el área dentro del acuífero es de 158,53 km².

- SUAREZ: se ubica en la zona oriental de departamento. Se encuentra a orillas del rio magdalena. Tiene una altitud media de 290 m.s.n.m, una extensión de 192,09 km² y una población de 4.555 habitantes. Presenta una economía plenamente agrícola desacatándose productos como el maíz, sorgo, algodón y frutales. En segundo renglón encontramos la ganadería que se constituye en un aspecto de gran importancia. (Alcaldía de Suarez-Tolima, 2018). El área dentro del acuífero es de 48,50 km².

- El GUAMO: tiene una población de 31.866 habitantes y una extensión de 503,54 km². Se encuentra a 326 m.s.n.m. alcanza una tempera media de 28°C. (Alcaldía de El Guamo-Tolima, 2018). El área dentro del acuífero es de 19,50 km2.

- SAN LUIS: Se encuentra localizado en la parte central del departamento del Tolima a una altitud de 500 m.s.n.m. Cuenta con una población de 20.000 habitantes y una extensión de 412,02 km². LA economía se centra en la agricultura de maíz, sorgo, yuca, mango, cítricos y sandia, también se ve la ganadería y porcicultura como actividades principales. (Alcaldía de San Luis-Tolima, 2018). El área dentro del acuífero es de 5.948 km².

Figura 1. Localización del Acuífero del Sur de Tolima



Fuente: Elaboración propia. Proagua, 2018.

FASE DE DIAGNÓSTICO

De acuerdo con la guía metodológica para la formulación de PMAA, la fase de diagnóstico se conforma por dos componentes: el modelo hidrogeológico conceptual y el componente sociocultural y económico.

En esta fase se determina las problemáticas asociadas al componente natural y al componente sociocultural y económico del sistema hidrogeológico. Para la etapa 1 de esta fase, se construirá un modelo hidrogeológico conceptual teniendo en cuenta la información recopilada en campo asociada a la demanda de agua subterránea de los usuarios ubicados al sur del acuífero, actualización de la geología, además de la caracterización hidroclimatológica.

Respecto a la temática social, económica y cultural se realizarán talleres con los actores sociales ubicados en los diferentes municipios que se ubican dentro de la zona de del acuífero.

Para el desarrollo de la fase de diagnóstico se utilizó cartografía básica y temática existente suministrada por CORTOLIMA y a partir de esta se generó más información, tales como información climática, cobertura, puntos de captación de agua subterránea y actualización de la geología entre otros.

La caracterización de las unidades geológicas del denominado acuífero del Sur del Tolima, a escala 1:25000 con fines de planificación ambiental de acuíferos, se genera a partir de la información base proporcionada por el Servicio Geológico Colombiano a escala 1:100.000 (planchas pdf del servicio geológico colombiano) además de las correspondientes verificaciones en campo de las características y georreferenciación de cada una de ellas. Adicionalmente, se soportó dicha cartografía geológica, con la generación del modelo digital del terreno, y los controles de campo para la respectiva calibración. El acuífero del Sur del Tolima, se encuentra distribuido espacialmente en los Municipios Natagaima, Coyaima, Ortega, Prado, Purificación, Saldaña Suárez, Guamo y San Luis., con tal diversidad de unidades geológicas y ambientes geotectónicos, que no es extraño encontrar condiciones geomorfológicas particulares que hacen del área un territorio diverso y con multiplicidad de factores que condicionan su aprovechamiento y que eventualmente tipifican las condiciones hidrogeológicas predominantes en la zona.

4 GEOLOGÍA

En los procesos de ordenación y planes de manejo ambiental de acuíferos, el componente de geológico se constituye en un insumo vital para la planificación y control de la degradación de los recursos naturales, hídricos, y condiciones económicas y sociales del área. Para una correcta evaluación de dicho componente se requiere que el análisis geológico de la zona permita definir las unidades presentes haciendo énfasis en la litología, textura, cambios de facies, tipo de porosidad, ambientes de deposición, estructuras tectónicas y geomorfológicas toda vez que la geología, es la información base para la interpretación hidrogeológica en la etapa diagnostica.

Para el desarrollo de la caracterización geológica se plantearon varias actividades basadas en la Guía Metodológica para la Formulación de Planes de Manejo Ambiental de Acuíferos (PMAA)", expedida por el MADS, en el año 2014.

4.1 Metodología

La generación de la cartografía geológica a escala 1:25:000 consistió en la compilación de diferentes estudios existentes en un solo mapa, y ajustada con información de sensores remotos y control de campo; lo que ha llevado a cubrir el 100% de la superficie del Acuífero del sur del Tolima. Y posteriormente seguir el análisis hidrogeológico y generación del modelo Conceptual. A continuación, se relacionan las actividades las cuales fueron ejecutadas de manera secuencial:

4.1.1 Evaluación de la información disponible

Con relación a los componentes de geología y temas conexos (geomorfología e hidrogeología) se identificaron inicialmente las entidades que era pertinente visitar para localizar información que tiene relación con estas áreas del conocimiento, los cuales se encuentran ampliamente ligados entre ellos, partiendo de la premisa de compilar tanto documentos como mapas que permitieran espacializar los datos reportados. Es de destacar que la principal fuente de consulta fue el Servicio Geológico Colombiano (SGC), por ser un ente de carácter gubernamental que tiene por directriz misional la generación de conocimiento al respecto y cuyos documentos se convierten en referentes de alta fiabilidad en el tema.

4.1.2 Interpretación de sensores remotos

El análisis de sensores remotos se realizó mediante la evaluación de imágenes de satélite (Google Earth) para el área de estudio, las cuales aportaron la cobertura total del área. Así mismo se cuenta con un modelo de elevación de terreno, el cual tiene una resolución o tamaño de celda de 12m; adicionalmente en esta etapa y mediante la utilización del SIG, se

superpuso la información consolidada a escala 1:100.000 con la fotointerpretada permitiendo identificar los sitios de interés prioritarios para iniciar el control geológico de campo.

4.1.3 Control de campo

Basado en los datos obtenidos anteriormente se realizó una comisión de campo, y durante esta fase se ubicaron y describieron las diferentes unidades litoestratigráfícas, mediante estaciones, y puntos de control (por la disposición subhorizontal de la unidad es difícil tener buenos aforamientos de roca, las mejores secciones geológicas se observan en los cortes sobre carreteras, ríos, quebradas y caminos de la zona), en los cuales se definieron los tipos de rocas y depósitos, (composición, textura, estructura, sorteamiento, porosidad y permeabilidad), estratificación, grado de meteorización y sus disposiciones estructurales (rumbo y buzamiento) (Anexo 1).

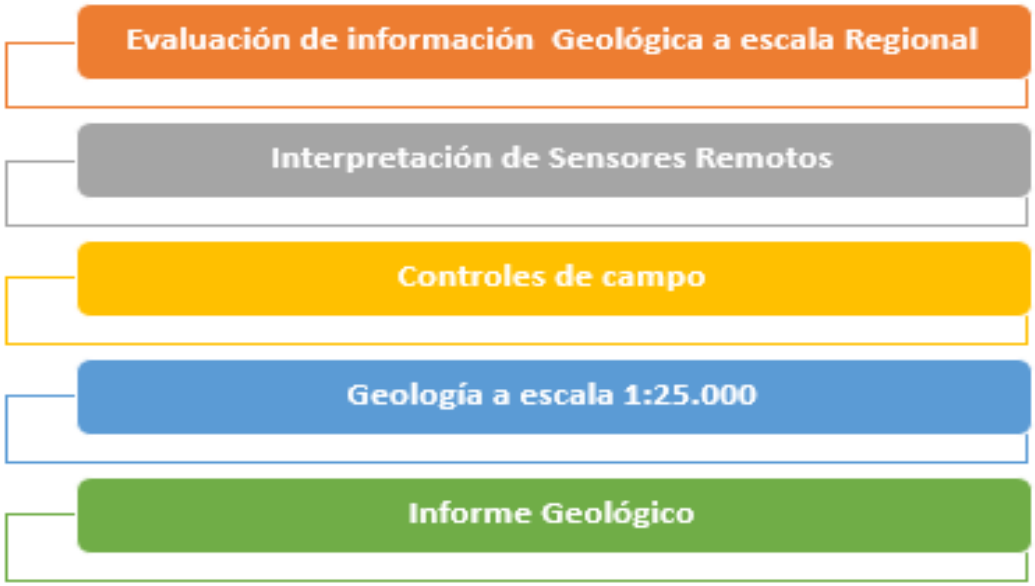
4.1.4 Geología con fines de planificación ambiental de acuíferos a escala 1:25000.

Teniendo como insumo los controles de campo adelantados en la etapa anterior, se consolidó el mapa geológico definitivo a escala 1:25.000 incluyendo el tipo de rocas, depósitos, y rasgos estructurales (Anexo 2).

4.1.5 Elaboración del informe

En esta etapa se realizó la verificación de la información obtenida en las etapas anteriores y se procedió a la elaboración del informe geológico (Figura 2).

Figura 2. Esquema de las actividades desarrolladas para Geología.

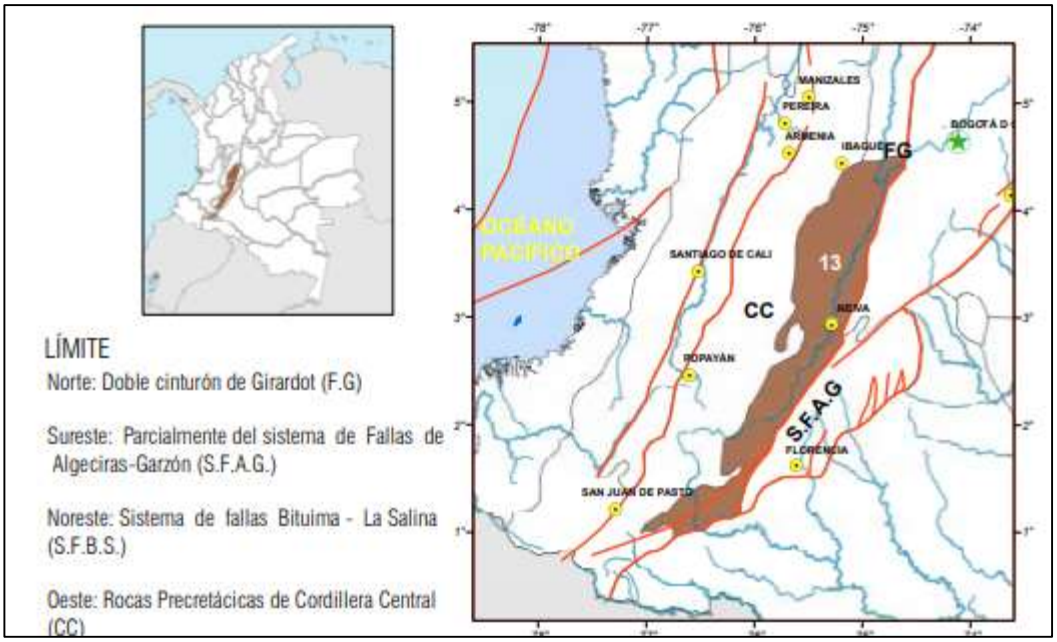


Fuente: Elaboración propia. Proagua, 2018.

4.2 Generalidades del área

El acuífero del Sur del Tolima, se encuentra inmerso en la provincia hidrogeológica del Valle Alto del Magdalena, la cual se extiende en dirección sur-norte, y limita al sur con las rocas ígneas y metamórficas (barreras impermeables) que conforman el Macizo Colombiano y al norte con el cinturón plegado de Girardot, al nororiente, está delimitada por el sistema de fallas Bituima-La Salina (BSFS), y al suroriente, parcialmente por el sistema de fallas Algeciras-Garzón (AGFS); al occidente, limita con las rocas precretáceas de la cordillera Central (CC), caracterizadas como una barrera impermeable. En sentido geomorfológico, esta provincia separa las cordilleras Central y Oriental, y conforma ambientes restringidos a la dinámica fluvial de la corriente superficial más importante del país: el río Magdalena. (IDEAM, 2010; Estudio Nacional del Agua, 2010). (Figura 3).

Figura 3. Ubicación de la provincia hidrogeológica de Valle Alto del Magdalena.



Fuente: (IDEAM, 2010; Estudio Nacional del Agua, 2010).

Desde el punto de vista hidrogeológico, la depresión tectónica del Valle del Magdalena se ha rellenado en el tiempo geológico y posterior al Mioceno se depositaron las secuencias más importantes por sus características litológicas y comportamiento hidráulico. Estas unidades corresponden, en primer lugar, al Grupo Honda, caracterizado por una secuencia granodecreciente de los depósitos de canal, resultantes de controles inherentes al sistema fluvial, como avulsión, migración lateral, cambios en disponibilidad de energía o material a los sistemas fluviales, y pueden incluir factores tectónicos, como levantamiento, subsidencia o vulcanismo.

La depositación de las secuencias y sus propiedades sedimentológicas están relacionadas con las diferentes combinaciones e intensidades de controles alocíclicos; durante los periodos de levantamiento activo o vulcanismo, estos sedimentos fueron depositados por diferentes sistemas de abanicos aluviales y eventos volcánicos, progradando sobre un amplio plano aluvial. Durante periodos intervenidos por la mayor actividad volcánica y tectónica, los abanicos aluviales llegaron a ser más reducidas en tamaño, y los sedimentos de los canales fueron depositados por sistemas fluviales trenzados y meándricos, fluyendo hacia el este de la planicie aluvial. Estas características de la depositación restringen las posibilidades de almacenamiento de agua subterránea a aquellos horizontes de areniscas y conglomerados, producto de acreción lateral, rellenos de canal, barras longitudinales y diques que se disponen en la parte superior del Grupo Honda.

Existe un marcado control tectónico que condiciona la distribución de los principales acuíferos en el Valle Superior del Magdalena, y los restringe a ambientes de depositación fluviales y de abanicos fluvioglaciares con variaciones laterales de facies depositados desde el Mioceno hasta el reciente. Los almacenamientos de aguas subterráneas están limitados por la depresión tectónica que se formó a partir de eventos distensivos hasta el Cretácico y continuó con una tectónica compresiva, cuyas expresiones mayores son los sistemas de cabalgamiento de Chusma, al oriente de la cordillera Central, y Garzón-Suaza, en el límite occidental de la cordillera Oriental. (IDEAM, 2010; Estudio Nacional del Agua 2010).

4.2.1 Marco Geológico e Hidrogeológico Regional

La evolución geológica del Valle Superior del Rio Magdalena, es decir la depresión geomorfológica que separa las Cordilleras Central y Oriental de Colombia. Se trata de una franja baja, orográficamente continua, pero con marcadas diferencias en la estratigrafía y en la tectónica, cuya evolución se remonta a los comienzos del Mesozoico y que ha pasado por diversas etapas deformativas, principal mente de tipo distensivo durante el Mesozoico, y de tipo compresivo durante el Cenozoico.

EI límite entre el Valle Superior (VSM) y el Valle Medio (VMM) debe encontrarse en el tramo comprendido entre un poco al norte de Girardot y la ciudad de Honda, y ha de estar marcado por elementos estructurales (e.g. Falla de Cambao-Falla de Ibagué, Línea Guataqui-Piedras) y/o diferencias en el tipo y edad del basamento económico.

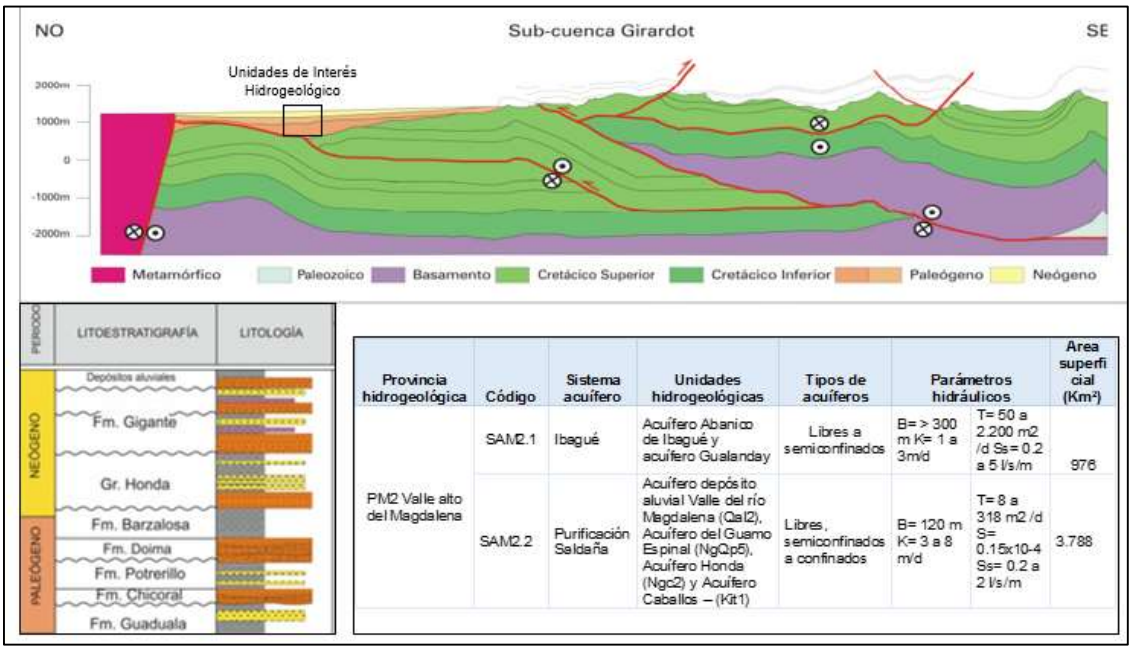
EI VSM se caracteriza por un estilo estructural compresivo, de cabalgamiento plegamiento, que afecta por igual ambos costados del mismo, con transporte tectónico opuesto y convergente hacia el centro del valle, y con desplazamientos que pueden alcanzar decenas de kilómetros a lo largo de múltiples superficies de despegue localizadas dentro de las unidades más blandas e incompetentes de la cobertera sedimentaria (e.g., Grupos Villeta y Guaduas).

Se forman así abanicos tectónicos imbricados, unas veces con escamación gruesa y nucleados por basamento, otras veces con escamación delgada que no afecta el fundamento precretacico. En el VMM la tectónica compresiva, con fallamiento inverso y/o de ángulo bajo afecta solo la mitad oriental, en tanto que, hacia el occidente, contra la Cordillera Central, se tienen fallas normales cuyo juego ha causado adelgazamientos y acuñamientos de las distintas formaciones meso y cenozoicas. (Mojica y Franco, 1990).

Por lo anterior, y desde el punto de vista hidrogeológico, es claro que en el VSM y en el costado oriental del VMM las formaciones acuíferas son ante todo de tipo estructural, (confinadas y semiconfinadas) mientras que en el costado occidental del VMM estas son de tipo combinado, estratigráfico -estructural (libres y confinadas).

Regionalmente el área del acuífero del sur del Tolima hace parte de la subcuenca sedimentaria de Girardot **(**Figura 4**)** que se extiende por el valle Superior del Magdalena entre las cordilleras Oriental y Central, y sobre esta cuenca ocupa la sección sur, la cual se estrecha cerca del límite con el departamento del Huila. Es así como la zona de interés para el presente estudio abarca un área de 1604 Km², siendo variada y compleja en términos geológicos.

Figura 4. Sistemas acuíferos identificados en la zona de estudio.



Provincia hidrogeológica	Código	Sistema acuífero	Unidades hidrogeológicas	Tipos de acuíferos	Parámetros hidráulicos		Area superficial (Km²)
PM2 Valle alto del Magdalena	SAM2.1	Ibagué	Acuífero Abanico de Ibagué y acuífero Gualanday	Libres a semiconfinados	B= > 300 m K= 1 a 3m/d	T= 50 a 2.200 m2 /d Ss= 0.2 a 5 l/s/m	976
	SAM2.2	Purificación Saldaña	Acuífero depósito aluvial Valle del río Magdalena (Qal2), Acuífero del Guamo Espinal (NgQp5), Acuífero Honda (Ngc2) y Acuífero Caballos – (Kit1)	Libres, semiconfinados a confinados	B= 120 m K= 3 a 8 m/d	T= 8 a 318 m2 /d S= 0.15x10-4 Ss= 0.2 a 2 l/s/m	3.788

Fuente: (ANH, 2004; IDEAM, 2014; Estudio Nacional del Agua, 2014).

De acuerdo con la zonificación de unidades hidrográficas e hidrogeológicas (IDEAM, 2014), Colombia está compuesta por 16 provincias hidrogeológicas distribuidas en cinco áreas hidrográficas, en las cuales se han identificado a la fecha 61 Sistemas acuíferos de carácter local y regional y cinco transfronterizos.

El Estudio Nacional de Aguas, IDEAM 2014; manifiesta que para la zona de estudio VSM se han identificado varios sistemas acuíferos codificados como SAM 2.1, Sistema acuífero de Ibagué y SAM 2.2. Sistema Purificación Saldaña. Así mismo menciona que no se cuenta con información hidrogeológica detallada para estos sistemas acuíferos que permita la consolidación de un modelo hidrogeológico conceptual. La descripción existente es referida a las unidades hidrogeológicas que son potenciales acuíferos para la explotación y algunas características hidráulicas de acuerdo con datos aislados sobre cada sistema.

En general se puede decir que la unidad de interés hidrogeológico del Sur Tolima, está representada principalmente por las sucesión estratigráfica del Grupo Honda, el cual hacia el norte es suprayacido por el abanico del Guamo-Espinal y reposa de manera discordante sobre la sucesión sedimentaria del cretácico, específicamente sobre la Formación Gualanday, presentando además contactos fallados con otras unidades de esta sucesión al oriente y occidente, dichas estructuras provocan el cabalgamiento de las cordilleras; al sur, la unidad reposa discordantemente sobre el basamento de la Formación Saldaña de origen volcánico y algunos cuerpos que la instruyen, basamento que en el sitio es relativamente poco profundo y se manifiesta superficialmente a manera de apófisis que sobresalen en las planicies y lomeríos desarrollados por la formación.

De manera más detallada y con base en la cartografía litológica del Servicio Geológico Colombiano a escala 1:100.000, tenemos que en el sector norte la unidad de interés o grupo Honda, además de estar en contacto estratigráfico con las formaciones Gualanday y Abanico Espinal-Guamo, interactúa por medio de limites fallados con otras unidades (Figura 5).

4.2.1.1 Formación Caballos (Kic)

Paquete de lodolitas fósiles en capas gruesas a medias, con estratificación ondulosa paralela; luego arenitas de cuarzo subangular y glauconita tamaño arena muy fina y media, en capas medias y delgadas con estratificación ondulosa no paralela; encima capas gruesas de micrita folsilífera con estratificación discontinua ondulosa y la presencia de gasterópodos, corales y bivalvos. Hacía la parte media de la columna aparece un paquete de arenitas de aproximadamente 20 m de espesor cuarzosas de tamaño medio, subangular, en capas gruesas y medias con estratificación inclinada, ondulosa paralela, flaser y lenticular. Esporádicamente ocurren capas delgadas de siderita intercaladas con arenita de grano fino. Hacía la parte superior de la formación, se encuentran paquetes de arenisca de color gris claro de grano fino a medio en capas medias con estratificación inclinada, intercaladas con capas de lodolitas de color gris oscuro intensamente bioturbadas y con la presencia de madrigueras y restos de material vegetal (carbón) (SGC, 2012).

- Edad. Beltran y Gallo, (1968) le asignan edad Aptiano-Albiano, Bürgl, (1961), también asigna la misma edad en base a la fauna encontrada en los alrededores de Ortega (Tolima). (SGC, 2012).

Por sus características litológicas y su posible porosidad secundaria por fracturamiento, se considera de moderada importancia hidrogeológica.

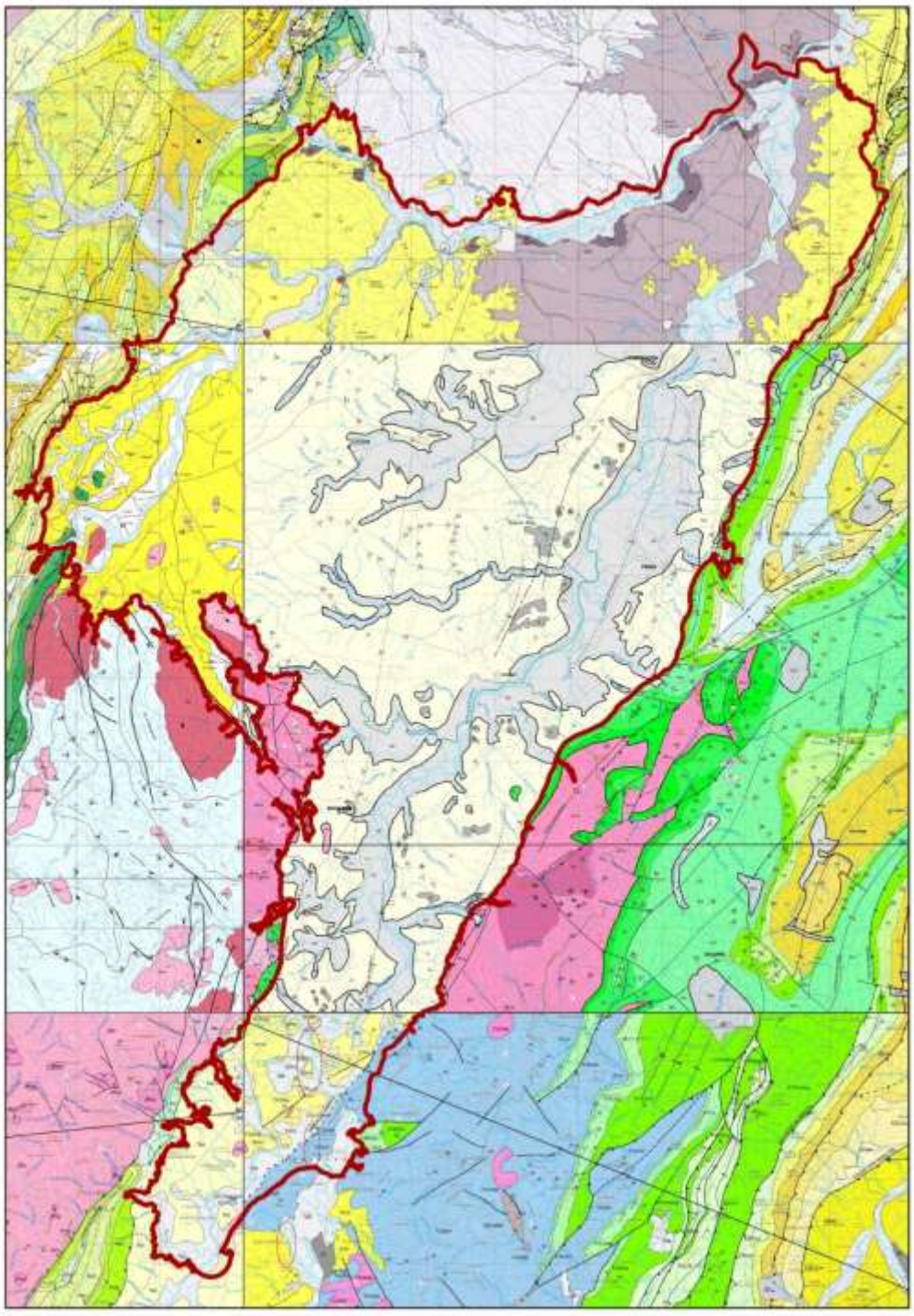
4.2.1.2 Grupo Honda (Tsh)

Fue definida por Hettner (1892) como una secuencia sedimentaria de areniscas, conglomerados y arcillolitas, situando como localidad tipo los afloramientos localizados en la población de Honda (Tolima). Entre los investigadores que han trabajado esta formación sobresale Butler (1942), quien la divide en dos miembros: Honda Inferior situado al Este de la población de la Dorada y Honda Superior expuesto en los alrededores de la población de Honda. Por su parte Wellman (1967), realiza una investigación de la Formación Honda en el Valle Superior del Magdalena, reconociendo dos miembros: miembro La Dorada correlacionable con el que Butler (1942) denomino Honda Inferior y miembro Villavieja, nombre tomado de la población de Villavieja (Huila), y que se correlaciona con el Honda Superior de Butler (1942).

Litológicamente, se encuentra constituida por una sucesión monótona de areniscas, arcillolitas y conglomerados. Las areniscas son de color gris-verdoso, de grano medio a fino, moderadamente bien sorteadas, con estratificación cruzada notoria y eventualmente paralela; están constituidas por granos de cuarzo, chert, fragmentos de roca y en menor cantidad biotita y magnetita. Esporádicamente se aprecian concreciones carbonatadas localizadas hacía la parte superior. Las arcillolitas son de diversos colores, predominando las tonalidades rojizas y verdes en capas hasta de 2 m de espesor, pero sin continuidad lateral; dentro de estas capas aparecen ocasionalmente venillas de yeso que no son económicamente explotables. Los conglomerados son polimígticos, con matriz arenosa y aparecen en lentes irregulares hasta de 80 cm de espesor; tienen cantos de cuarzo ahumado, cuarzo cristalino, chert negro y rocas volcánicas (tobas, traquitas y pórfidos andesíticos).

- Contactos. El contacto inferior del Grupo Honda con la Formación Caballos y el Grupo Gualanday está marcado por una discordacia Angular. El contacto inferior con rocas del, Grupo Olini está marcado por una falla de cabalgamiento; Para el resto del sector el contacto inferior es discordante.
- Edad. Villarroel y Guerrero (1984) describen un fragmento de maxilar del suborden Toxodonta denominado Hurlatherium Pluriplicatum, encontrado en el desierto de la Tatacoa municipio de Villavieja (Huila) en sedimentos del Grupo Honda y que fueron situados en el Mioceno Medio.

Figura 5. Mapa Geológico Regional a escala 1:100.000



Fuente: Servicio Geológico Colombiano SGC, (2012).

Las posibilidades de almacenamiento de agua subterránea se encuentran asociada a aquellos horizontes de areniscas y conglomerados, producto de acreción lateral, rellenos de canal, barras longitudinales y diques que se disponen en la parte superior del Grupo Honda; por lo tanto, es considerada la unidad de mayor interés hidrogeológico o unidad acuífera.

Debido a lo expuesto anteriormente, a continuación, se procede a detallar las diferentes observaciones de campo realizadas para el Grupo Honda, con el fin de obtener el mayor detalle litológico de la unidad.

4.2.1.2.1 Grupo Honda (Tsh) observaciones de campo.

En la historia reciente este grupo ha sido descrito y clasificado o categorizado en miembros y formaciones por diferentes autores, encontrándose serias discrepancias entre diferentes propuestas pues los analistas consideran que la lejanía entre las secciones de referencia, los patrones de distribución y los períodos de formación e incluso la continuidad de los estratos condicionan en gran medida la posibilidad de integración de nomenclatura e incluso de caracterización desarrollada para la sucesión en el VMM y VSM.

Para el presente caso por la cercanía del desierto de la Tatacoa, y especialmente de la región de Las Ventas y de Villavieja, usaremos como referencia algunos de los estudios desarrollados en esa zona en los que se ha buscado caracterizar el grupo, sin embargo el identificar que durante el presente trabajo se han encontrado algunas características no reportadas para la unidad y que pueden ser de interés general, se ha decidido hacer una caracterización general de la unidad y luego se intentará buscar una correlación con los miembros o unidades previamente descritos en otras localidades.

Regionalmente tenemos que el acuífero Honda presenta una interacción directa con las unidades acuíferas cuaternarias asociadas a los drenajes principales de la zona, además de interactuar con el acuífero del abanico aluvial de Espinal – Guamo y con el extremo norte del acuífero Neiva - Tatacoa - Garzón. A esto se suma una interacción parcial con el acuífero de la formación Caballos localizado al occidente de la unidad.

En litologías tenemos registros de areniscas líticas, areniscas cuarzo feldespáticas, areniscas conglomeráticas, limolitas, arcillolitas y lentes conglomeráticos, los cuales presentan variación en el tamaño de los clastos mostrando guijarros y bloques hacia el sur del municipio de Natagaima mientras que al oriente y norte los clastos son de tamaños menores ganando potencia los estratos. Esta característica podría indicar que el área fuente del material conglomerático pudo ser cercana al extremo sur del área estudiada variando la capacidad de transporte o dinámica fluvial hacia el norte donde las características de la unidad indican un canal trenzado. De una manera más detallada se pudo identificar que al occidente en el sector comprendido entre los ríos Cucuana y el centro poblado de Ortega

predominan las areniscas cuarzo feldespáticas con líticos y color pardo amarillento (Fotografía 1), que varían a areniscas líticas gris verdosas mostrando niveles conglomeráticos o de areniscas conglomeráticas cuyos clastos o gravas medias a finas presentan una composición similar a las areniscas al estar conformadas por chert y cuarzo, alcanzando espesores que pueden superar los 30 m.

Fotografía 1. Niveles de areniscas líticas con grava fina suprayacendo a un nivel de arcillolitas, sobre la orilla oriental de la carretera Guamo-Ortega. Coordenadas planas magna con origen Bogotá x: 885250 y: 930751.

Fuente: Elaboración propia. Proagua, 2018.

Esta unidad genera laderas de pendiente tendida a suave con dirección ESE; una característica de esta unidad es que desarrollan meteorización esferoidal en la que nódulos o bloques con formas redondeadas quedan como relictos luego de avanzados procesos de meteorización (Fotografía 2**)**. Si bien unidades como arcillolitas pardo-rojizas y limolitas gris verdosas fueron observadas en algunos afloramientos de este sector, su espesor relativamente pequeño y la baja frecuencia pueden indicar un posible acuñamiento de estas litologías hacia la cordillera Central.

Fotografía 2. Meteorización esferoidal de areniscas y areniscas conglomeráticas con desarrollo de meteorización esferoidal. Vía terciaria del municipio de Ortega. Coordenadas planas magna con origen Bogotá x: 878205 y: 924550.

Fuente: Elaboración propia. Proagua, 2018.

Haciendo un desplazamiento del extremo occidente al oriente se pudo identificar que en los alrededores del centro poblado de Coyaima son relativamente frecuentes algunos cerros remanentes modelados en estratos de areniscas y en la sucesión de arcillolitas, limolitas y areniscas pardo rojizas y gris verdosas respectivamente (Fotografía *3*), las cuales yacen concordantemente sobre la unidad de areniscas identificadas en el extremo occidente de la zona y a la vez son suprayacidas por niveles de areniscas y areniscas conglomeráticas.

Esta sucesión presenta espesor variable y se pudo determinar que el nivel de limolitas, arcillolitas y areniscas finas puede superar los 20 m sobre la unidad de areniscas e incluso en algunos sectores presenta secuencias deposicionales, sin embargo, este espesor varía mucho en la horizontal y específicamente hacia el oriente disminuyen marcadamente la potencia de los estratos, incrementando la frecuencia de intercalación, es decir que los estratos son menos espesos, pero tienen más iteraciones. Esta unidad es muy susceptible a la erosión desarrollando surcos y generalmente se encuentran remanentes de ella, en los que los niveles arcillosos presentan un alto grado de fracturamiento asociado a la resequedad de la roca, situación que facilita la actividad denudativa.

Fotografía 3. Cerros residuales modelados en areniscas y areniscas conglomeráticas a la izquierda y arcillolitas, limolitas y areniscas a la izquierda. Afloramientos cercanos al casco urbano del municipio de Coyaima. Coordenadas planas magna con origen Bogotá x: 877705 y: 910871 & x: 876820 y: 912023 respectivamente.

Fuente: Elaboración propia. Proagua, 2018.

Hacia las partes bajas, cerca del canal del río Magdalena se distribuye subsuperficialmente comportándose como sello o limite vertical para la infiltración, haciendo que se almacenen aguas al techo de la unidad e incluso en algunos sectores controlan tanto la infiltración que a pesar de ser zonas muy secas, en tiempos de lluvia la cantidad de escorrentía es mayor que la infiltrada, esto con base en el desarrollo de procesos erosivos remontantes tipo cárcava como se verá en la Fotografía 4, donde la unidad muestra acumulación de aguas las cuales fluyen de niveles de contacto entre areniscas al techo y arcillolitas a base.

La particularidad del afloramiento mostrado en la Fotografía 4 radica en que está localizado en una zona muy seca con escasa cobertura arbustiva, en la cual según las comunidades las precipitaciones son escasas; sin embargo ocurre un canal de aproximadamente tres metros de profundidad que se extiende hacia el río Magdalena consolidándose como cárcava, que en su cabecera presenta un resumidero estancado que no se extingue aun ante la fuerte y frecuente insolación, ello debido a que el sustrato arcilloso impide su infiltración y a la vez promueve la surgencias de aguas infiltradas en partes altas.

Como se decía anteriormente, esta sucesión de arcillolitas, limolitas y areniscas (Fuente: Elaboración propia. Proagua, 2018.

Fotografía 5) se extiende hacia el Oriente del centro poblado de Coyaima siendo frecuentemente identificada en la región de manera superficial, conformando relieves colinados con desarrollo de surcos, aspecto característico del Grupo Honda, presentando variaciones en su espesor y dominancia o prevalencia superficial de algunas de estas litologías. Es de aclarar que esta sucesión muestra una disposición ondulada posiblemente asociada a fenómenos compresivos que afectaron su disposición original probablemente horizontal.

Fotografía 4. Intercalaciones de limolitas y arcillolitas de color pardo rojizo con niveles de areniscas finas a muy finas de color gris verdoso. Esta unidad que se extiende ampliamente al sur de Natagaima generando planicies extensas que desarrolla surcos y cárcavas. En la imagen se observa como aflora el agua en el nivel inferior de arcillolitas y se empoza de forma natural en la cabecera de una cárcava. Coordenadas planas magna con origen Bogotá x: 882383 y: 876968. Al fondo se observa la Loma Peña Alta o Yerbenal localizado al noroccidente del afloramiento.

Fuente: Elaboración propia. Proagua, 2018.

Fotografía 5. Contacto concordante entre niveles de arcillolitas y limolitas de color pardo rojizo y gris verdoso en la parte inferior y areniscas con grava a conglomeráticas en la parte superior. Nótese como se acumula y aflora el agua en la parte inferior del estrato arenoso justo por encima del contacto con la unidad de arcillolitas y limolitas. Afloramiento localizado al sur del casco urbano del municipio de Prado, en la margen occidental de la vía terciaria a Natagaima. Coordenadas planas magna con origen Bogotá x: 905335 y: 906800.

Fuente: Elaboración propia. Proagua, 2018.

A medida que nos acercamos al río Magdalena tenemos que empiezan a aflorar niveles de ortoconglomerados polimícticos con matriz arenosa y clastos tamaño grava media a fina de formas redondeadas subesféricas distribuidos en lentes de los que se derivan colinas de cimas redondeadas (Fotografía 6), ya que esta unidad le otorga una resistencia a los niveles subyacentes o sucesión de arcillolitas, areniscas y limolitas. La composición de esta unidad es

predominantemente de rocas ígneas intermedias a básicas con eventuales ocurrencias de clastos de rocas sedimentarias tipo areniscas silíceas.

Fotografía 6. Afloramiento a borde de carretera en la margen oriental de la vía Castilla-Saldaña. En la imagen se presenta un cerro del relieve colinado, el cual fue cortado durante la realización de la vía; como se puede observar, la unidad conglomerática aluvial tiene una disposición sub horizontal y generalmente se encuentra en la cúspide de los cerros pues les otorga resistencia a la actividad denudativa. También se puede observar la profundidad del perfil de suelos la cual no es mucha (aproximadamente 2 metros). Coordenadas planas magna con origen Bogotá x: 892892 y: 921785.

Fuente: Elaboración propia. Proagua, 2018.

Esta misma unidad conglomerática, hacia el sur en cercanías a la quebrada Yacó presenta variaciones considerables en la granulometría con un predominio de rocas porfiríticas básicas (Fotografía 7), mostrando un marcado incremento del tamaño de los clastos los cuales llegan a ser bloques con formas subangulares, subredondeadas y subesféricas, conservando el patrón de distribución al suprayacer la sucesión del limolitas, arcillolitas y areniscas de colores pardo rojizo y gris verdoso las cuales desarrollan surcos que drenan los caudales excedentes durante temporadas de lluvia.

Fotografía 7. Afloramiento al sur del municipio de Natagaima, cerca de la quebrada Yacó en la margen oriental de la vía principal. En la imagen se puede apreciar la composición de los diferentes clastos de que coronan los cerros del sector y que esencialmente corresponden a rocas ígneas hipoabisales intermedias a básicas en un 70% y a rocas sedimentarias silíceas en un 30%. Al fondo y en la base se pueden observar los clastos originales, alguno de los cuales alcanzan tamaño bloque. Coordenadas planas magna con origen Bogotá x: 876766 y: 871922.

Fuente: Elaboración propia. Proagua, 2018.

En la margen derecha del río Magdalena tenemos que la unidad conglomerática es un poco menos frecuente y conserva los patrones de distribución, estando asociada a la generación de colinas remanentes con una cúspide conglomerática; la principal variación consiste en el tamaño de los clastos que para el presente caso tienen tamaños de grava media con formas subesféricas y redondeadas. Si bien esta unidad ha sido bastante afectada por los procesos meteóricos que la han lavado y prácticamente la han disgregado, dispersado y desaparecido, eventualmente ocurren algunos afloramientos en los que importantes remanentes conservan la estructura en la que se puede identificar una imbricación y el carácter clasto soportado (Fotografía 8), además de una coloración pardo rojiza producto de la meteorización, la cual afecta en tal medida a la unidad que para algunos clastos no fue posible el reconocimiento del material parental.

Fotografía 8. Afloramiento a borde de carretera en la margen derecha del Río Magdalena, microcuenca de la quebrada El Salado. En la imagen se puede observar el contacto entre un estrato de areniscas a la base y el nivel de conglomerados al techo, el cual se extiende hasta la cima del cerro, presentando esencialmente imbricación y un arreglo clasto soportado. Coordenadas planas magna con origen Bogotá x: 898609 y: 897405. El norte es señalado por la punta del martillo.

Fuente: Elaboración propia. Proagua, 2018.

Finalmente hacia el norte del área de estudio cerca de la confluencia entre los ríos Saldaña y Magdalena, se registró un afloramiento de una longitud considerable en un alto topográfico donde se pudo observar la unidad conglomerática con gradación normal, cuyo común denominador es que corona o se dispone en la parte más alta de la sucesión sedimentaria estudiada (Fotografía 9). Allí la unidad presenta una buena selección, mantiene su carácter clasto soportado y la matriz se encuentra en un estado avanzado de meteorización tornándose de color pardo rojizo a anaranjado, mientras que sus clastos tienen en su mayoría tamaño de graba media a fina, indicando una dirección de flujo N5E marcada por la imbricación de algunos clastos; este estrato tiene un espesor aproximado de 5 m y se dispone concordantemente sobre intercalaciones de arcillolitas y areniscas medias a gruesas igualmente muy alteradas.

Fotografía 9. Afloramiento a borde de carretera cerca de la confluencia entre los ríos Saldaña y Magdalena. En la imagen se puede observar un estrato de ortoconglomerados polimícticos con matriz arenosa e imbricación con dirección de flujo NNE, el cual reposa concordantemente sobre intercalaciones de areniscas y arcillolitas. Coordenadas planas

magna con origen Bogotá x: 910792 y: 932346. El norte es señalado por la punta del martillo.

Fuente: Elaboración propia. Proagua, 2018.

Una conclusión que sale de este análisis sobre la distribución de la unidad conglomerática y su calibración o textura, es que para la zona ésta unidad corresponde a la última litología de la sucesión cuyos mejores afloramientos aunque poco espesos se encuentran cerca al eje del sinclinal que desarrolla la formación, además de esto se concluye que existe una gradación horizontal que al parecer marca la dirección del área fuente para la zona de estudio, de igual manera la variación de los espesores de esta unidad puede estar señalando cambios en la paleo dinámica fluvial a medida que nos desplazamos hacia el norte en la unidad acuífera.

Ya en las estribaciones de la Cordillera oriental tenemos que las unidades están basculadas hacia el occidente presentando un mayor ángulo con respecto a la vertiente opuesta del río (Fotografía 10), evidenciando una marcada asimetría en el pliegue sinclinal cuyo eje coincide parcialmente con el canal y la llanura de inundación del río Magdalena. Dado el contacto fallado con la cordillera oriental, la disposición de la unidad muestra variaciones en la inclinación del flanco oriental del sinclinal, y de hecho la unidad se verticaliza hacia el nororiente del municipio de Purificación evidenciando la influencia del sistema de pliegues de la cordillera.

Fotografía 10. Imagen de la sucesión sedimentaria observada desde el escarpe de la falla Prado. En primer plano se puede observar el basculamiento marcadamente mayor que en el flanco occidental del sinclinal de Purificación, cuyo eje coincide parcialmente con el canal y algunas terrazas aluviales del río Magdalena. Coordenadas del sitio de toma sistema plano magna con origen Bogotá x: 912766 y: 919285.

Fuente: Elaboración propia. Proagua, 2018.

Acorde a la estructura geológica identificada y descrita previamente, tenemos qué los materiales aflorantes en este sector corresponden a la sucesión sedimentaria inicialmente descrita, la cual estaría conformada por estratos de areniscas y areniscas conglomeráticas hacia la base, los cuales son suprayacidos por intercalaciones de arcillolitas, lutitas y areniscas de colores pardo rojizo, gris verdosos y pardo amarillento respectivamente, estratos que a su vez son parcialmente coronados por algunos lentes conglomeráticos.

Es de anotar que como se relató inicialmente la formación se acuña hacia el sur de la zona, mientras que hacia el norte su espesor puede incrementarse según se amplia y espesa la cuenca sedimentaria, es así que unidades no identificadas en el área de estudio pueden estar haciendo presencia hacia el norte donde se puede observar un mayor espesor de la sucesión a través de imágenes satelitales, específicamente en las estribaciones de la cordillera oriental pues los estratos se verticalizan dando la posibilidad de medir un espesor muy aproximado de la unidad, sin embargo es justo en este sitio donde se ha reportado la Falla La Bacava que afecta a las rocas del grupo y las pone a cabalgar sobre sí misma y por ende genera repeticiones.

Como conclusión podemos decir que las areniscas son esencialmente líticas con cuarzo y feldespato, presentando variaciones locales a areniscas cuarzosas y cuarzo feldespáticas **(**Fotografía 11); esta unidad es dura a muy dura, se observó seca y en algunas ocasiones presenta cemento calcáreo al que algunos autores asocian una mayor resistencia que deriva en meteorización esferoidal. Los tamaños de grano son predominantemente arena fina a muy fina, seguida en frecuencia por el tamaño de grano arena media a fina presentándose eventuales ocurrencias de areniscas gruesas a muy gruesas asociadas a intercalaciones con niveles gravosos o conglomeráticos.

Con relación a los fragmentos líticos tenemos que, para la fracción arenosa, sólo se identificó que las partículas de color oscuro posiblemente corresponden a chert, aspecto que se logró identificar en partículas de chert de color azul oscuro a negro conformando la fracción lítica de la mayoría de areniscas grueso granulares. Esta aseveración se basa además en la identificación y caracterización de los clastos que conforman en las arenitas conglomeráticas y conglomerados arenosos en los que predomina el chert, seguido por el cuarzo.

Por su parte para la fracción arcillosa y limosa de color pardo rojizo y gris verdoso respectivamente, diferentes autores plantean un origen aluvial estuarino donde son frecuentes los procesos de oxidación sin-sedimentaría, ambiente que explicaría además la intercalación con niveles de areniscas muy finas a limolitas de color gris verdoso cuyo color es derivado de la composición lítica oscura presente en la fracción arenosa.

4.2.2 Cuaternario

Las unidades cuaternarias presentes en la zona están relacionadas a procesos de depositación de los ríos principales como son el Magdalena y el Saldaña, correspondientes específicamente llanuras aluviales, terrazas, llanuras de inundación, albardones, orillares y meandros abandonados principalmente; denominadas por el servicio geológico en su cartografía a 1 en 100.000 como Cuaternario aluvial (Qal) y Terrazas aluviales cuaternarias (Qt).

En general las unidades cuaternarias cubren aproximadamente un 30% de la formación Honda y tienen un gran potencial acuífero al ser materiales inconsolidados ubicados en los terrenos bajos; espacios que además son explotados agrícolamente con cultivos de arroz potenciados con canales de riego.

Composicionalmente tenemos que las llanuras de inundación, terrazas aluviales y meandros abandonados presentan una litología esencialmente compuesta por limolitas, arcillolitas, areniscas y conglomerados, que generalmente se observaron con buen estado de consolidación, Aunque muestran procesos de oxidación importantes que pueden afectar a futuro la conservación de la unidad. Localmente se pudo identificar que algunos de estos depósitos conformados por areniscas y areniscas conglomeráticas esencialmente, son deleznables siendo aprovechados por las comunidades como materiales de construcción en algunos sectores.

Fotografía 11. Collage en que se muestran las variaciones de granulometría y composición de las areniscas identificadas en la zona, en el que se tiene como escala de referencia la punta de un lapicero; cómo podemos observar existen variaciones en el tamaño de grano, las formas de los mismo, la madurez de la muestra el sorteamiento de la misma, entre otros como el color y contenido de cemento.

Fuente: Elaboración propia. Proagua, 2018.

Dada la homogeneidad de las unidades, las cuales generalmente desarrollan planicies extensas con pocos a nulos afloramientos, una caracterización detallada de estas es difícil de obtener, estando restringida a la descripción morfológica y su distribución en el área a base de interpretación de imágenes obtenidas con sensores remotos, aspectos que serán considerados a profundidad en el capítulo de geomorfología.

4.3 Geología estructural

El acuífero del Sur del Tolima se localiza en el VSM, donde tuvieron lugar grandes eventos tectónicos desde al Precámbrico hasta hoy, sin embargo, se resume el marco tectónico

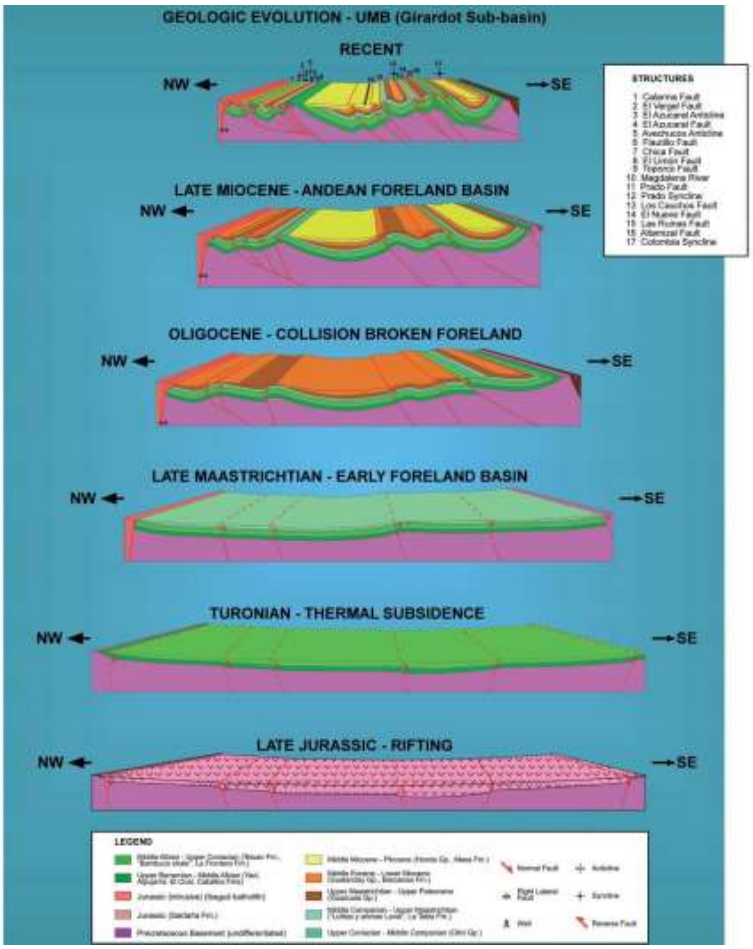
evolutivo correspondiente a las formaciones de interés. Al final del Cretácico el levantamiento de la cordillera Central genera regresiones del mar, permitiendo la depositación de sedimentos de transición hasta el pulso más importante de la cordillera central, esto ocurre inclusive a principios del Cenozoico, provocando un periodo de no depositación y dando origen a fallas inversas y pliegues asociados, que se desarrollan al mismo tiempo que ocurre la depositación de sedimentos de ambiente continental. Al final del Paleógeno y principios del Neógeno existe una breve trasgresión del mar y se levanta la cordillera oriental, debido a la orogenia Andina que además invierte las fallas normales, genera fallas inversas, cinturones plegados y el continuo levantamiento de las cordilleras Oriental y Central. Durante el Neógeno y cuaternario continúa la depositación de sedimentos de ambientes continentales (Figura 6).

Estructuralmente hablando, la zona al encontrarse en un territorio tectónicamente activo muestra rasgos estructurales observables con relativa frecuencia, algunos de los principales son:

4.3.1 Falla prado

Corresponde a una estructura con dirección general noreste localizada en la base del piedemonte occidental de la cordillera oriental, sirviendo de contacto o límite entre las unidades del valle del Magdalena -Grupo Honda- y las sucesiones cretácica y jurásica de la cordillera. Esta es una falla de carácter inverso con vergencia al oriente, cuyo bloque colgante corresponde a la cordillera y el bloque yacente corresponde a las unidades cenozoicas del valle. Según la memoria explicativa de la plancha 303, su mayor movimiento se dio luego de la depositación de la Formación Gualanday cuando se produjo el levantamiento de la cordillera oriental; Un movimiento posterior ocasionó el levantamiento final de la cordillera, por el mismo plano de la falla, con un replegamiento del límite oriental del Grupo Honda, probablemente en el Mioceno tardío. Según la memoria explicativa de la plancha 204, esta estructura "pone en contacto rocas de la Formación La Tabla con rocas del Grupo Honda y morfológicamente deja un escarpe por el levantamiento de la Formación La Tabla. La Falla de Prado es cortada por las fallas de Suárez y Páramo, y queda fosilizada por éstas. No muestra evidencias de neotectónica".

Figura 6. Modelo integrado de evolución Tectónica del VSM.



Fuente: Modificado de Geotsearch, (2011). Citado por Roncancio y Martínez, (2011).

4.3.2 Falla Suarez

Es una falla que podría considerarse la proyección norte de la Falla Prado y según la memoria explicativa de la plancha 204 es una "falla de cabalgamiento con vergencia al NW, dirección de plano N10E y buzamiento de 30° al SE"; esta falla monta rocas del Grupo Olini sobre rocas del Grupo Honda. Geomorfológicamente origina las cuchillas de Aguas Claras y de Bolivia por el levantamiento de las rocas cretácicas. La falla continua hacia el norte donde se denomina Sistema de Falla de Agua de Dios y hacia el sur es interceptada por la Falla Prado. NO muestra evidencias de neotectónica.

4.3.3 Falla La Bacava

Según la memoria explicativa de la plancha 204 es una falla de cabalgamiento con vergencia menor a 40° al occidente y dirección N-S que repite rocas del Grupo Honda. NO muestra actividad en el cuaternario.

4.3.4 Falla Cucuana

Según Gabriel Paris (2000), es una falla dextro lateral cuyo último gran movimiento concurrió hace más de 1 millón de años y se calcula que su movimiento es de 0.2 mm/año. Según la memoria explicativa de la plancha 204, tiene una prolongación que ha sido referida por Ingeominas como Cucuana Este y hace parte del sistema de fallas Cucuana-Río Bogotá. Tiene un rumbo N70E con plano de falla subvertical e interrumpe la continuidad de las unidades paleógenas y cretácicas que afecta, controlando además algunos tramos del Río Magdalena.

4.3.5 Sistema de fallas La Chusma

Según Gabriel Paris (2000), es una falla inversa dextro lateral con vergencia al occidente cuyo último movimiento concurrió hace más de 1 millón de años, mientras que en la memoria explicativa de la plancha 283 la describen como una serie de fallas con tendencia NE-SW que son cortadas por numerosas fallas menores con dirección NW-SE, poniendo en contado las Formaciones Caballos y Saldaña con el Grupo Honda.

A las estructuras anteriormente descritas se suman algunos lineamientos con dirección NE-SW y NW-SW identificados en la zona, que controlan parcialmente el cauce de algunos drenajes, los patrones de drenaje de la formación en algunos sectores, además de algunas deflexiones de cauces.

4.4 Geomorfología

De acuerdo con la metodología propuesta por Alfred Zinck en 2012, el área de estudio está localizada al norte de la goestructura conocida como cadena montañosa andina, área que presenta un ambiente geomorfológico mixto estructural-deposicional-denudacional y paisaje geomorfológico también mixto pues confluyen paisajes de valle regional, específicamente del valle intramontano del río Magdalena con paisajes de lomerío, características que han sido agrupadas y denominadas como Valle Superior del Magdalena VSM.

Con respecto a la categoría de relieve y modelado propuesta por el mismo autor, tenemos una serie de geoformas discriminables según el ambiente al que están vinculadas o del que se derivan de la siguiente manera:

Geoformas de origen denudacional: Colinas, lomas, mesas o mesetas y vallecitos.

Geoformas de origen deposicional: abanicos de explayamiento, albardones o barras, llanuras de inundación y terrazas esencialmente.

Geoformas de origen estructural: sinclinales y anticlinales, valles lineales, causas deflectados, sinclinales, superficies onduladas y escarpes de falla, estos últimos localizados esencialmente en el límite oriental de la formación acuífera en estribaciones de la Cordillera oriental.

En cuanto a la litología y facies propuestas como categoría de clasificación tenemos qué, esencialmente la unidad acuífera o formación *Honda,* en la zona está compuesta predominantemente por limolitas y areniscas grisáceas, interestratificadas con lutitas pardo-rojizas. Esta litología varía considerablemente hacia el occidente, específicamente cerca al municipio de Ortega donde predominan las areniscas medias a gruesas masivas con colores grisáceos y amarillentos, mientras que, hacia el sur, sur occidente y norte, se registran algunos remanentes de una unidad conglomerática masiva eventualmente con imbricación, conformada por clastos predominantemente de origen volcánico básico. Estos remanentes conglomeráticos desarrollan colinas al brindarle una mayor resistencia a la erosión a las unidades finas y muy finas subyacentes, colinas que en ocasiones son de cimas planas, pero generalmente sus cimas son redondeadas y carecen de una cúspide conglomerática.

Por su parte, en cuanto a las unidades asociadas a dinámica fluvial reciente, es decir a llanuras de inundación, terrazas, abanicos y depósitos de lecho, tenemos que la composición es predominantemente arenosa con algunas ocurrencias de lentes de conglomerados o barras y limolitas y arcillolitas. Estas unidades desarrollas en superficies planas con una disposición subhorizontal con una distribución longitudinal paralela a los cauces que las originaron, caracterizadas por una ausencia de afloramientos que expongan su distribución interna y la continuidad de cada unidad.

Finalmente, dentro de la caracterización jerárquica propuesta por Alfred Zinck en 2012, tenemos la categoría de forma del terreno o geoforma, que corresponde a la caracterización de atributos del terreno como topografía, tamaño y la distribución de las diferentes unidades. De esta manera tenemos que el relieve o forma del terreno puede subdividirse en cuatro grandes zonas, una correspondiente al contacto o interacción con la cordillera Oriental, zona donde las geoformas dominantes son de carácter estructural como pendientes o vertientes cataclinales, microcuencas piggy back y algunas vertientes anaclinales, además de algunas colinas remanentes con cimas redondeadas y otras planas tipo meseta de poca altura (máximo 30 m).

Una segunda zona correspondería al tramo sur en límites con el desierto de la Tatacoa y el departamento del Huila, en este sector las geoformas predominantes son el relieve colinado o lomerío, correspondientes a cerros remanentes que en la cima presentan algún registro de material conglomerado grueso con bloques de rocas ígneas y composición volcánica básica. Este relieve colinado muestra algunas ocurrencias de cerros o apófisis del basamento que, para el sector, está conformado por la Formación *Saldaña* y algunos cuerpos ígneos que la intruyen, esta morfología presenta variaciones a medida que se acerca al cauce del río Magdalena donde se integra con llanuras aluviales.

La tercera zona o sector corresponde a los afloramientos más occidentales de la formación en estribaciones de la cordillera Central, dónde es posible observar cerros remanentes que conforman mesetas de baja altura y pequeña distribución con desarrollo de escarpes de poca altura. Esta unidad hace parte de una superficie o vertiente cataclinal con vergencia hacia el río Magdalena, estás colinas de cimas planas son desarrolladas en estratos de areniscas masivas eventualmente conglomeráticas con espesores potentes que superan los 10 y 20 m.

Finalmente tenemos un cuarto sector o zona que se localiza en el centro del área de estudio y corresponde a relieves relativamente planos producto de la actividad de posicional en terrazas aluviales y valles coluvioaluviales los cuales en la actualidad son explotados con cultivos de arroz. Estás terrazas aluviales son derivadas de la actividad deposicional del río Saldaña y del río Magdalena, mientras que los valles coluvio aluviales son derivados de los procesos denudativos activados con el levantamiento o basculamiento de la unidad conformando un relieve colinado rodeado por vallecitos.

Tabla 1. Resumen de clasificación geomorfológica según metodología Zinck (2012), del acuífero Honda, ubicado al sur del Tolima.

Geoestructura	Cadena montañosa andina
Ambiente morfogenético	*Mixto* estructural-deposicional-denudacional
Paisaje geomorfológico	*Mixto*, paisaje de valle con sectores de paisaje colinado
Relieve/ modelado	*Denudacional*: Colinas, lomas, mesas o mesetas y vallecitos *Deposicional*: abanicos de explayamiento, albardones o barras, llanuras de inundación y terrazas *Estructural*: sinclinal, valles lineales, cauces deflectados, sinclinales, superficies onduladas y escarpes de falla
Litología/facies	Areniscas, limolitas, arcillolitas y conglomerados
Forma del terreno	Escarpe de la falla Prado, Sinclinal de Purificación, sinclinal del Magdalena, anticlinal de Hilarco, relieve colinado, valles coluvioaluviales, colinas, mesas orillares, albardones de río, llanuras de inundación, abanicos de explayamiento, terrazas, meandros abandonados, cauces colmatados, abanico aluvial.

Fuente: Elaboración propia. Proagua, 2018.

Escarpe de la falla Prado: si bien esta geoforma no afecta directamente a la formación Honda –unidad acuífera de interés-, al corresponder con el límite geográfico oriental para la zona se estudió, se ha considerado apropiado por lo menos nombrarlo. Esta geoforma presenta un desnivel altitudinal cercano a los trecientos metros de altura con dirección general nor-noreste y una continuidad por más de 80 kilómetros en los que se consolida como límite oriental de la formación (Fotografía 12).

Fotografía 12. Escarpe de la Falla Prado que pone en contacto la sucesión sedimentaria cretácica del valle superior del Magdalena con el Grupo Honda en el valle del río del mismo nombre. En primer plano se observa el relieve colinado desarrollado por la unidad de interés, mientras que en la parte alta se presenta la sucesión sedimentaria cretácica de la Cordillera Oriental. Coordenadas del sito de toma sistema plano magna con origen Bogotá x: 911466 y: 921605.

Fuente: Elaboración propia. Proagua, 2018.

Sinclinal de Purificación: esta estructura se localiza hacia el centro del área, y su eje es ubicado en la margen oriental del Río Magdalena con el cual coincide parcialmente su cauce, favoreciendo la acumulación de material de arrastre en llanuras aluviales consolidando terrazas aluviales alargadas en dirección NNE con una amplitud aproximada de 5 km y un longitud cercana a los 20 km desde el norte del municipio de Natagaima pasando por Prado y llegando hasta cercanías al centro poblado de Purificación.

Sinclinal del Magdalena: esta estructura es ubicada hacia el sur de la zona, en jurisdicción del municipio de Natagaima y límites con el departamento del Huila, es de menor tamaño e influencia que el sinclinal de Purificación, sin embargo al ubicarse en cercanías al cauce del Río Magdalena, favorece el desarrollo de procesos similares como la acumulación de material de lecho en llanuras aluviales y terrazas, las cuales tienen una amplitud promedio de 1000 metros, una dirección aproximada NS y una longitud de unos cinco kilómetros aproximadamente.

Anticlinal de Hilarco: esta es una estructura de bajo ángulo que ha sido identificada al suroeste del centro poblado de Purificación, en la margen occidental del Río Magdalena, y se extiende en dirección NNE por aproximadamente 10 kilómetros, consolidándose como un alto topográfico que funciona como divisoria entre la microcuenca de la quebrada Chenche y el Río Magdalena.

Relieve colinado: esta es la unidad geomorfológica más frecuente en el área de estudio, al abarcar la mayor parte de la vertiente occidental de la formación, y parte importante de la vertiente oriental, principalmente en estribaciones de la cordillera oriental (**ver Fotografía 13**). Esta unidad de poca altura es desarrollada principalmente sobre areniscas y limolitas del Grupo Honda, y su distribución está parcialmente controlada por estructuras geológicas.

Valles coluvioaluviales: los valles coluvioaluviales son una geoforma complementaria del sistema colinado y su distribución está parcialmente controlada por estructuras geológicas. Estos vallecitos tienen una amplitud variable de hasta 2000 metros y una longitud que supera los 15 kilómetros en la microcuenca de la quebrada Chenche en la cual se pudo registrar espesores de hasta 10 m en los depósitos asociados a esta unidad (Fotografía 14).

Fotografía 13. Relieve colinado desarrollado por el Grupo Honda, identificado al oriente del rio Magdalena en la microcuenca de la quebrada El Salado. En la imagen también se reconocen parcialmente los valles coluvio aluviales que son complementarios a la unidad descrita y en los cuales ocasionalmente ocurren humedales. Coordenadas del sito de toma sistema plano magna con origen Bogotá x: 899728 y: 898454. Imagen se la zona sur oriental del afloramiento.

Fuente: Elaboración propia. Proagua, 2018.

Fotografía 14. Valle coluvio aluvial típico de la zona de estudio, donde presenta una superficie plana producto de la acumulación de materiales denudados de las colinas que rodean el valle. También es común encontrar cantos rodados a media ladera desprendidos generalmente de las cimas de los cerros. Coordenadas del sito de toma sistema plano magna con origen Bogotá x: 898209 y: 896538. La fotografía es tomada con dirección nor-oriente.

Fuente: Elaboración propia. Proagua, 2018.

Colinas: esta geoforma es muy abundante y se presenta a manera de cerro aislado y su distribución es aleatoria, siendo más frecuentes en los sectores oriental y sur, presentando una altura de entre 20 y 30 m con relación a la superficie general del terreno (Fotografía 15), estos cerros presentan composición variable pues se pudo identificar algunos conformados por apófisis de cuerpos ígneos básicos, mientras que en algunos sectores corresponden a colinas remanentes o cerros residuales desarrollados en el Grupo Honda, que en frecuentes ocasiones están coronados o muestran en la cúspide relictos de estratos conglomeráticos.

En los casos de los cuerpos ígneos la altura puede ser un poco mayor y la forma puede tornarse alargada, siendo estos un factor característico y determinante que ayudó a identificar algunos al correlacionar algunas geoformas identificadas con ayuda de sensores remotos.

Fotografía 15. Imagen de una zona al sur de Natagaima, donde se pueden observar a la distancia ceros o colinas de una altura mayor a la comúnmente mostrada por la unidad de interés, teniendo com fondo la Cordillera Oriental. Estos cerros o colinas aisladas generalmente corresponden a cuerpos ígneos que intruyen el basamento o hacen parte del él que para el presente caso es la Formación Saldaña, es así que estas geoformas corresponden a apófisis del basamento. Coordenadas del sito de toma sistema plano magna con origen Bogotá x: 881535 y: 873364.

Fuente: Elaboración propia. Proagua, 2018.

Mesas: esta geoforma es poco frecuente y se registró esencialmente hacia el sur oriente de la zona donde son frecuentes las colinas remanentes y unas de éstas presentan cimas planas levemente basculadas hacia el occidente. Estás colinas de cimas planas presentan o mantienen una altura similar a las de las demás colinas o cerros remanentes (ver Fotografía 16), sin embargo, no parecen presentar una cobertera o sima conformada por materiales conglomeráticos, situación que puede indicar una distribución heterogénea de la unidad conglomerática.

Fotografía 16. Imagen tomada en la margen derecha del río Magdalena a la altura del centro urbano de Natagaima, donde se presenta colinas de cimas planas y poca extensión, las cuales en el presente estudio han sido denominadas mesas. Estas unidades conservan la altura general de la unidad y son producto de la meteorización diferencia pues los conglomerados que generalmente están en sus cimas les otorgan mayor resistencia a la actividad denudativa. Coordenadas del sito de toma sistema plano magna con origen Bogotá x: 898609 y: 897405. La imagen capta la zona suroccidental del afloramiento.

Fuente: Elaboración propia. Proagua, 2018.

Orillares: geoformas de origen aluvial deposicional, relativamente frecuentes los drenajes principales la zona, presentando tamaños variables y distribución paralela a la dirección de flujo, el espesor es variable sin embargo éste no fue medido por la dificultad de acceder a estos y la ausencia de afloramientos que expongan una sección característica. El principal atributo de esta unidad es su carácter efímero al estar estrechamente relacionados a dinámicas fluviales que pueden verse afectadas por aspectos estructurales e hidrológicos entre otros.

Albardones de río: esta unidad es una de las más frecuentes en el área de estudio (Fotografía 17), lo que podría indicar un espacio de decantación o de liberación de material de carga asociado variaciones en la pendiente del terreno y pérdida de la capacidad de transporte por reducción de velocidad y densidades de líquido transportador. Si lo tenemos en consideración, la zona en general se consolida como una cuenca sedimentaria intramontana qué tiene una historia reciente activa, y podríamos correlacionar las distintas estructuras con procesos de subsidencia y replegamiento.

Fotografía 17. En primer plano tenemos un orillar identificado en el Río Cucuana a la altura de la mina de material de río. Al fondo de la imagen se reconocen cerros que corresponden a afloramientos del Grupo Honda. Coordenadas del sito de toma sistema plano magna con origen Bogotá x: 883266 y: 931688. El plano o dirección de la imagen es en sentido suroriental.

Fuente: Elaboración propia. Proagua, 2018.

Llanuras de inundación: si bien son poco abundantes en el área de estudio y se encuentran restringidas esencialmente al Valle del río Magdalena, tenemos que en la zona la influencia estructural genera espacio de acomodación controlando marcadamente la distribución los depósitos, su extensión y posiblemente el espesor de los mismos. En general estas áreas con relación a la extensión de la formación acuífera de interés, son de pequeño tamaño mostrando una distribución alargada paralela al cauce principal del río Magdalena y siendo restringidas por la ocurrencia de altos topográficos que limitan los espacios y niveles de acomodación.

Abanicos de explayamiento: son depósitos muy poco frecuentes y están asociados con microcuencas pequeñas con tiempos de concentración rápidos y la capacidad de transporte es relativamente alta en comparación con la capacidad de asimilación del canal receptor, en este caso el Río Magdalena. Específicamente este tipo unidad se observó hacia el sur occidente, donde el área aferente de las diferentes microcuencas presenta altas pendientes, escaza cobertura arbórea y canales de transporte relativamente angostos cortos que facilitan el transporte acelerado e incrementan la capacidad de carga.

Terrazas: las terrazas aluviales son depósitos que evidencian el tránsito antiguo de diferentes drenajes sobre una zona, en el presente caso estas unidades se registraron durante la mayor parte del área de influencia del río Magdalena y en la parte distal del río Saldaña; en general su distribución está controlada por fenómenos tectónicos estructurales mencionados en el aparte sobre llanuras inundación para el caso del río Magdalena (Fotografía 18). Sin embargo,

en el caso del área de influencia del río Saldaña este tipo de depósitos o unidades parece mostrar mayor rango de migración, afectando un gran territorio cercano a la desembocadura del río Saldaña en el río Magdalena. Esta unidad está conformada por areniscas, areniscas conglomeráticas y conglomerados no consolidados que genera un relieve suave a plano limitado por paleo topografía. Estás planicies derivadas de los procesos de acumulación, en la actualidad son utilizadas como campos de cultivo de arroz.

Fotografía 18. Terraza aluvial cerca de la confluencia de los ríos Saldaña y Magdalena. En primer plano se observa la planicie que en algunos sectores es aprovechada con actividades agrícolas, al fondo se observan algunos cerros del Grupo Honda. Coordenadas del sito de toma sistema plano magna con origen Bogotá x: 911661 y: 932688.

Fuente: Elaboración propia. Proagua, 2018.

Meandros abandonados: Aunque los meandros abandonados son una forma característica de un río como el Magdalena, en la zona de estudio estos no fueron identificadas para mencionado drenaje, situación que implica un mantenimiento del curso durante un tiempo relativamente largo, marcando además una plena colmatación del valle antes de la migración e indicando una fase medial para el drenaje. En el caso del río Saldaña si se pudo identificar un par de meandros abandonados y el caso de un lecho colmatado, ambos cerca al centro poblado del mismo nombre (Saldaña), marcando una reducción de la capacidad de carga y una ampliación del Valle que permite su migración; estas características hacen parte de una terraza aluvial la cual puede tener entre 4 y 5 metros de altura con respecto al actual nivel del cauce, el cual según habitantes de la zona durante crecientes se incrementa entre dos y tres metros. En general estas unidades se encuentran bastante alteradas o transformadas, al punto de presentar aprovechamientos agrícolas.

Cauces colmatados: esta unidad es poco frecuente y sólo fue registrada en el área de influencia de la parte distal del Río Saldaña, en terrazas aluviales del municipio del mismo nombre

donde se presentan aprovechamientos productivos agrícolas industriales que han transformado la unidad, la cual tan sólo conserva características de humedad y distribución que ayudan a identificarlo. Esta unidad es delgada alargada en dirección occidente oriente y forma ondulada alcanzando una longitud aproximada a los 3 km y una amplitud cercana a los 300 metros.

Abanico aluvial: esta unidad es de bastante interés para la zona norte del área de estudio en límites con la jurisdicción del municipio del Guamo (Fotografía 19), donde históricamente se ha identificado un depósito aluvial de composición volcánica que se distribuye ampliamente en el territorio y genera planicies uniformes teniendo como límite aparente al río Saldaña, a este respecto se puede considerar una afirmación acertada el tomar al río Saldaña como el límite sur de la formación aunque se han registrado algunos aforamientos escasos al sur del río específicamente en el puerto Batolón, veredas El Cairo - Las bisas, donde se identificaron areniscas masivas con ocurrencias de clastos de origen volcánico tamaño granulo.

Fotografía 19. Imagen de detalle de los depósitos del abanico Guamo-Espinal, los cuales fueron identificados en el límite norte de la zona, en las riveras del Río Saldaña, específicamente en el puerto Batolón. En la imagen se presentan areniscas gris verdosas finas a medias con abundantes líticos oxidados de origen volcánico (pumita), con tamaño granulo. Coordenadas del sito de toma sistema plano magna con origen Bogotá x: 907528 y: 931931.

Fuente: Elaboración propia. Proagua, 2018.

5 MODELO HIDROGEOLÓGICO CONCEPTUAL

Un modelo hidrogeológico es una representación descriptiva y gráfica de un sistema acuífero que incorpora una interpretación de las condiciones geológicas e hidrogeológicas y su interrelación con sistemas asociados (ríos, lagos, ecosistemas, mar), de tal manera que se reducen el problema físico y el dominio del acuífero a una versión simplificada de la realidad. Un modelo hidrogeológico conceptual es dinámico ya que se construye a partir de variables temporales como las climatológicas, hidrológicas e hidráulicas y por lo tanto a medida que se disponga de información nueva o se reevalúe la existente, éste deberá ser ajustado. Para establecer el modelo hidrogeológico conceptual de un acuífero, se debe recolectar, analizar, evaluar e integrar información sobre la geología, geofísica, inventario de puntos de agua subterránea, hidrología, hidroquímica, hidráulica subterránea, entre otros. (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2014) (Figura 7).

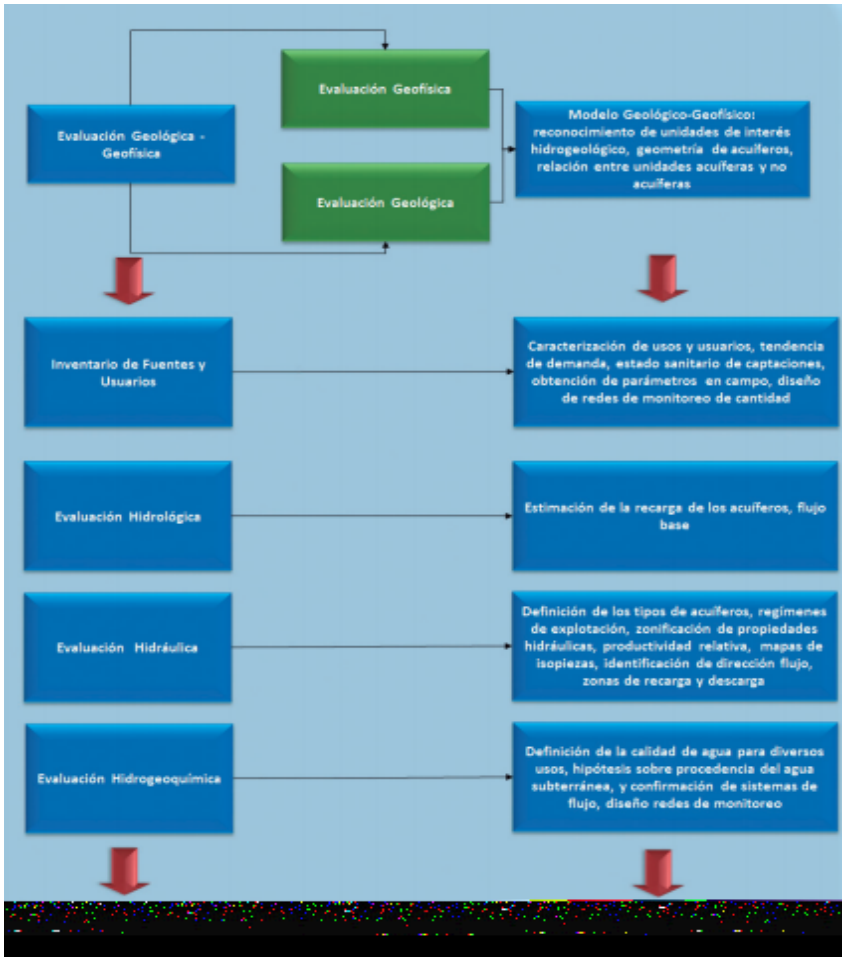
El alcance del modelo hidrogeológico generado para el acuífero del Sur del Tolima es un primer acercamiento a dicho modelo y es limitado debido a que, para el caso de estudio, la información geofísica utilizada en la generación del modelo procede de fuentes secundarias de diversos estudios hidrogeológicos regionales y locales. Adicionalmente no se cuenta con datos de hidrogeoquímicos medidos en campo, sin embargo, se incluye un análisis de calidad y usos basado en el inventario de puntos hidrogeológicos realizado en la etapa de campo.

De la misma manera es importante mencionar que la exploración geológica es un elemento fundamental para la construcción de un modelo hidrogeológico conceptual. Este componente fue elaborado a partir del análisis y procesamiento de información recopilada en la fase de aprestamiento, de la interpretación de fotos e imágenes aéreas y verificación en campo, Se sintetizó el mapa geológico del área de estudio a escala 1:25.000 (la información geológica se describió ampliamente en el capítulo de GEOLOGÍA). Este trabajo sirvió de base para la definición de las unidades hidrogeológicas con potencial acuífero.

5.1 Hidrogeología regional

Regionalmente el área del acuífero del sur del Tolima hace parte de la subcuenta sedimentaria de Girardot que se extiende por el Valle Superior del Magdalena (VSM) entre las cordilleras Oriental y Central, y sobre esta cuenca ocupa la sección sur, la cual se estrecha cerca del límite con el departamento del Huila. Según El Estudio Nacional de Aguas, IDEAM 2014; manifiesta que para la zona de estudio VSM se han identificado varios sistemas acuíferos codificados como SAM 2.1, Sistema acuífero de Ibagué y SAM 2.2. Sistema Purificación Saldaña. Encontrándose El Acuisur inmerso en este último.

Figura 7. Diagrama de flujo para la construcción modelo hidrogeológico conceptual



Fuente: Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, (2014).

Así mismo menciona que no se cuenta con información hidrogeológica detallada para estos sistemas acuíferos que permita la consolidación de un modelo hidrogeológico conceptual.

Desde el punto vista hidrogeológico el acuífero del Sur del Tolima, está conformado por cuatro (4) unidades que interactúan por medio de conexiones hidráulicas. Esta unidad acuífera está conformada por lo que De Porta y otros autores han coincidido en denominar Grupo Honda, correspondiente a una sucesión sedimentaria de amplia dispersión en el Valle Superior (VSM) y Medio del Magdalena (VMM).

El Servicio Geológico Colombiano, 2011. Elaboró el Mapa de Permeabilidades de Colombia, el cual busca evaluar cualitativamente la capacidad que tiene cada una de las unidades crono-litoestratigráficas presentadas en el Mapa Geológico de Colombia en escala 1:500.000 de almacenar y permitir el flujo del agua subterránea. En este caso, (El acuífero del Sur del Tolima) se encuentra en el área cubierta por la Plancha 5-14, localizada en el sur occidente de

Colombia, involucrando de manera parcial a Bogotá D.C y los Departamentos de Huila, Tolima, Cundinamarca, Meta, Guaviare y Caquetá.

Las unidades litoestratigráficas con permeabilidades han sido agrupadas en cuatro categorías que dependen de la litología de los sedimentos y rocas teniendo en cuenta en estas últimas también el fracturamiento.

Estas categorías se definen como: (A) Sedimentos, rocas sedimentarias y vulcanoclásticas de alta a media permeabilidad, (B) Rocas con disolución y fracturamiento de alta a media permeabilidad, (C) Sedimentos y rocas sedimentarias de baja permeabilidad y (D) Rocas sedimentarias muy compactas, ígneas y metamórficas de baja permeabilidad.

La sucesión estratigráfica presente en el acuífero del Sur del Tolima se halla principalmente en la categoría A. Asociada a unidades geológicas intergranulares; Constituidas por sedimentos aluviales, vulcanoclásticas y rocas sedimentarias de ambiente continental, transicional y marino.

A continuación, se describen las principales características desde el punto de vista hidrogeológico de las unidades regionales.

- **Q2-vc (Abanico del Guamo-Espinal)**

Se localizan sobre las poblaciones de San Luis, El Guamo y Espinal en el Departamento del Tolima, en el flanco oriental de la Cordillera Central. Esta unidad se encuentra constituida por materiales volcánicos retrabajados, principalmente arenas y gravas con abundante material pumítico, lo que hace pensar en un origen vulcano - sedimentario. Se diferencian del Abanico de Ibagué por su mayor contenido volcánico y material más fino.

Esta unidad es considerada como un acuífero libre (Hincapie y Huguett, 2004), de extensión regional que cubre principalmente las rocas del Grupo Honda; los espesores son variables, entre 95 y 117 m, con disminución de norte a sur.

Importancia hidrogeológica alta para el área de estudio ya que aporta la recarga a la unidad infrayacente (Acuífero Grupo Honda). Se presentan caudales de 12 l/s o superiores; El movimiento del agua subterránea va de noroeste - sureste y del occidente al oriente, es decir en el sentido de recubrimiento del abanico sobre las unidades infrayacentes.

En el Abanico del Guamo - Espinal, muestras de agua analizadas de aljibes y pozos, se presentan en general químicamente potable caracterizándose por ser predominantemente bicarbonatada cálcica y/o magnésica, en especial la de los pozos ubicados alrededor de El Guamo. La potabilidad química del agua se afecta ligeramente por la dureza y sólidos en suspensión y algunos se destacan por valores superiores en manganeso. En cuanto a la

clasificación del agua para riego, la proveniente del Abanico de Espinal es adecuada (INGEOMINAS, 1999) en el sur del Tolima.

- **Q-ca (Abanicos coluvio-aluviales)**

Se trata de una serie de abanicos coalescentes que se han interdigitados, cuando los más nuevos han cubierto los remanentes de los más antiguos; Están cubriendo rocas ígneas, metamórficas y sedimentarias del Paleógeno, generalmente en discordancia angular se encuentran adosados a la Cordillera Oriental, están conformados por gravas, arenas gruesas, arenas lodosas y abundan los bloques subredondeados a subangulares, eventualmente bloques de la Formación Saldaña y de las unidades sedimentarias del Cretácico y Paleógeno, con matriz areno arcillosa a areno guijosa; también presentan niveles arenosos friables delgados a medios.

Importancia hidrogeológica alta, debido a su posición tectónica donde sus afloramientos se consideran como zona de recarga de alta capacidad de infiltración. Esta unidad es considerada como un acuífero libre de extensión local (Hincapie y Huguett, 2004).

- **Q-al (Depósitos aluviales)**

Corresponde a extensos depósitos aluviales cuyos generadores principales son los ríos Magdalena, Saldaña, y Cucuana.

Esta unidad que ha sido depositada principalmente por el río Magdalena y sus afluentes la denominan Acuífero Valle del Río Magdalena (Hincapié, 2004), se encuentra conformado por aluviones y varios niveles de terrazas, situados en las llanuras de inundación de sus principales tributarios, donde sobresalen los depósitos ubicados en ambas márgenes, a lo largo del curso del río Magdalena, de origen eminentemente fluvial, haciendo parte de una topografía en forma de pequeñas mesetas aplanadas. Litológicamente se componen de gravas y arenas con intercalaciones limosas y arcillosas, con poca o ninguna consolidación y baja permeabilidad.

Los depósitos aluviales corresponden a la llanura de inundación del río Magdalena y están constituidos por bloques, gravas, arenas, limos y arcillas no consolidadas, que forman acuíferos libres de extensión variable y baja permeabilidad; en el proyecto (INGEOMINAS - CAM, 1998) se inventariaron 2 pozos, 139 aljibes y 54 manantiales, que captan este acuífero. El río Magdalena se define como una zona descarga natural del acuífero.

- **n4n6-Sc (Grupo Honda)**

Aflora en una extensa área del Valle Superior del Magdalena, donde aparece formando colinas y mesetas de poca altura, en una franja estrecha y alargada con dirección norte - sur

en los departamentos de Tolima y Huila, Se encuentra constituida por rocas del Grupo Honda, conformado de base a techo por conglomerados, encima de los cuales se encuentran paquetes arenosos y algunos conjuntos donde se intercalan niveles arcillosos y arenosos. Se depositó en un ambiente fluvial meandriforme a lacustre durante el Terciario Medio.

Se describe a esta unidad como el Acuífero Honda, el cual es multicapa, de tipo confinado a semiconfinado en sus áreas de almacenamiento; se considera como el de mayor extensión regional y al norte se encuentra conectado hidráulicamente con el Acuífero Abanico del Guamo – Espinal (INGEOMINAS, 1999).

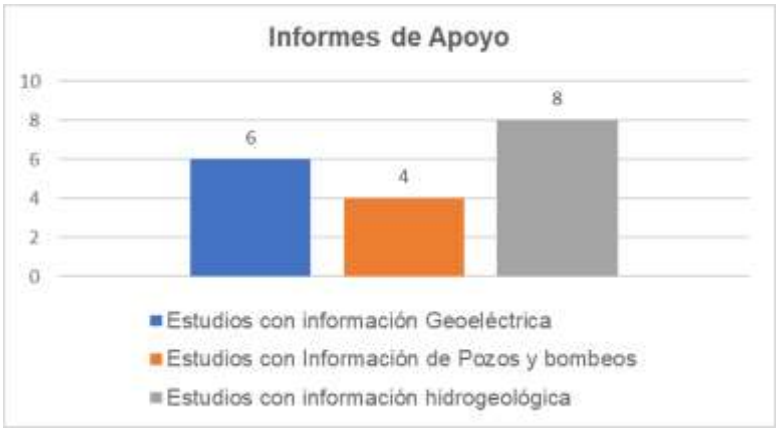
El Grupo Honda, Es la unidad hidrogeológica más importante del área de estudio, la zona de recarga del acuífero la constituyen los paquetes arenosos que afloran en el valle de los ríos Baché y Magdalena, por allí se infiltra el agua proveniente de las precipitaciones, mientras que, al norte, se produce por intermedio de las capas saturadas de los depósitos de flujos de lodo que conforman el Abanico del Espinal que lo suprayace. En pequeña proporción, la recarga se puede dar por la porosidad secundaria de las rocas anteriores al Terciarias, mediante flujo de agua a través de fracturas.

5.2 Hidrogeología Local

En este numeral nos centraremos en la caracterización de las unidades acuíferas que integran el Grupo Honda, basados en la información geológica e inventario de puntos hidrogeológicos (Pozos, Aljibes, manantiales) de campo; apoyados en información secundaria en relación con estudios geofísicos e hidrogeológicos para la unidad de interés.

Inicialmente se realizó el análisis de 14 documentos (Figura 8) con esta temática entre informes y estudios técnicos así:

Figura 8. Informes de apoyo analizados



Fuente: Elaboración propia, Proagua, 2018.

Dichos estudios incorporan campañas geoeléctricas compuestas por 25 Sondeos Eléctricos Verticales (SEV) y siete (2) perforaciones exploratorias profundas.

Los sondeos eléctricos se encuentran localizados en 4 zonas (Guamo, Coyaima, Ortega y San Luis) cuyos resultados fueron correlacionados con las unidades litoestratigráficas identificadas en campo, donde la mayoría de los Sev´s coinciden con la identificación de 4 capas o unidades con las siguientes características (Tabla 2).

De los valores presentes en la tabla anterior se puede interpretar que las unidades acuíferas de interés corresponden a las capas II y IV Asociadas a los niveles de areniscas conglomeráticas del Grupo Honda, las cuales presentan una conductividad eléctrica en un rango de 10 hasta 40 (Ohm/m) y una profundidad promedio de 11m para la capa II y >35 m para la capa IV.

Así mismo la variación de los valores de resistividad y profundidad de las capas identificadas, permite deducir que se trata de un acuífero detrítico multicapa, que incluye, por una parte, las formaciones aluviales, constituidas por los depósitos recientes originados en relación con la red fluvial actual; además de los abanicos fluviovolcanicos con variaciones laterales de facies. Que conforman acuíferos de tipo libre hacia la zona Noroeste y semiconfinado hacia Sureste en las márgenes tectónicas de la falla Prado, coincidiendo con la estructura geológica del área.

5.2.1 Parámetros Hidráulicos de las unidades Acuíferas del Grupo Honda

Localmente los parámetros hidráulicos del acuífero del sur del Tolima fueron tomados de pruebas de bombeo realizadas en las perforaciones profundas para explotación de aguas subterráneas realizadas por (INGEOMINAS, 1999 y HOCOL 1998). En el proyecto Pozo Chenche, localizado en el municipio Coyaima Noroeste del área de estudio y Pozo Babillas 1 ubicado en peñas Blancas (Huila) límite Sur; a continuación, se muestra la tabla resumen de los valores obtenidos para cada parámetro hidráulico (Tabla 3).

Tabla 2. Características Geoeléctricas de las unidades identificadas en el Grupo Honda, para la zona del acuífero del Sur del Tolima.

GUAMO TOLIMA				
Capa Identificada	Rango de Resistividad (Ohm/m)	Interpretación /Asociación Litológica	Profundidad/ Espesor (m)	Caracteristicas Hidrogeologicas /Acuíferas
I	43.2-46,3	se correlacionan con depósitos de gravas y arenas friables del Abanico del Espinal (Qfl).	0,4	Puede almacenar y transmitir agua., acuifero del grupo Honda
II	135,8 - 152.8	Tobas, Igminbritas, meteorizadas y fracturadas. Con alta permeabilidad secundaria. Alta variaciòn lateral.	0,4 - 5,7	Puede almacenar y transmitir agua
III	44,9 - 78,9	intercalaciones de lodolitas y areniscas saturadas de la parte superior del Grupo Honda (Th)	5,7 - 34,8	Puede almacenar y transmitir agua
IV	8,2 -11.5	Intercalación de arcillolitas y limolitas	34,8 -51,9	Sin condiciones para formar Acuíferos
COYAIMA				
Capa Identificada	Rango de Resistividad (Ohm/m)	Interpretación /Asociación Litológica	Profundidad/ Espesor (m)	Caracteristicas Hidrogeologicas /Acuíferas
I	2-34	Suelo limo arenoso, y areniscas meteorizadas	11	Sin condiciones para formar Acuíferos
II	10-20	areniscas saturadas, areniscas conglomeraticas.	12-127	Acuiferos del grupo Honda
III	4-6	Intercalación de arcillolitas y limolitas	127-156	Acuicludos sin ineres hidrogeologico
ORTEGA				
Capa Identificada	Rango de Resistividad (Ohm/m)	Interpretación /Asociación Litológica	Profundidad/ Espesor (m)	Caracteristicas Hidrogeologicas /Acuíferas
I	10-29	Suelo seco	0,9	Sin condiciones para formar Acuíferos
II	100-170	Gravas y arenas secas	0,9 -10	Sin condiciones para formar Acuíferos
III	10-18	Areniscas y arcillolitas saturadas y arenas conglomeraticas	>10	Acuiferos del grupo Honda
SAN LUIS				
Capa Identificada	Rango de Resistividad (Ohm/m)	Interpretación /Asociación Litológica	Profundidad/ Espesor (m)	Caracteristicas Hidrogeologicas /Acuíferas
I	7-48,6	Areniscas y arcillolitas saturadas y arenas conglomeraticas	5,5	Acuiferos del grupo Honda
II	15-40,5	Areniscas conglomeraticas saturadas	5,5- 11,2	Acuiferos del grupo Honda
III	4-15	Lodolitas	11,2 - 21,5	Sin condiciones para formar Acuíferos
IV	10-25,5	Areniscas y arcillolitas saturadas y arenas conglomeraticas	> 21,5	Acuiferos del grupo Honda

Fuente: Elaboración propia. Proagua, 2018.

Tabla 3. Resumen de los Parámetros Hidráulicos de los acuíferos del Sur del Tolima

POZO Nº	Nivel Estático (NE) m año (2002)	Capacidad Específica Ce(l/s/m)	Transmisividad M^2/d	Conductividad Hidraúlica K	Caudales Esperados Qe l/s	Niveles Dinámicos para caudales esperados ND (m)
POZO CHENCHE COYAIMA 1999	3,28	0.359	67	$2.3*10^{-6}$	4	14.40
POZO BABILLAS 1	23,5	0,16	36	$1.18*10^{-13}$	53,6	25

Fuente: (Ingeominas, 1999; Hocol, 1993).

Uno de los parámetros hidráulicos más importante de un acuífero es la trasmisividad porque representa la capacidad que tiene el acuífero para ceder agua.

Respecto a la Conductividad hidráulica (K) o permeabilidad es una medida muy característica de la textura del acuífero; en este caso corresponde a zonas con predomino litológicos de capas permeables.

Los valores altos de conductividad hidráulica y transitividad del Pozo Chenche, están asociados a un acuífero libre. Mientras que los valores bajos de estos dos parámetros en el Pozo Babillas 1 son típicos de acuífero Confinando. Coincidiendo con los resultados interpretados de Sev´s y confirmando el comportamiento de acuífero libre hacia el Noroeste y Confinado al Sureste.

Y finalmente la Capacidad Específica corresponde a un parámetro hidráulico de pozo, el cual ha registrado valores bajos, inferiores a 0,5 l/s/m para el acuífero del Sur del Tolima, lo que se traduce en niveles de bombeos muy profundos.

5.2.2 Zonas de recarga y descarga.

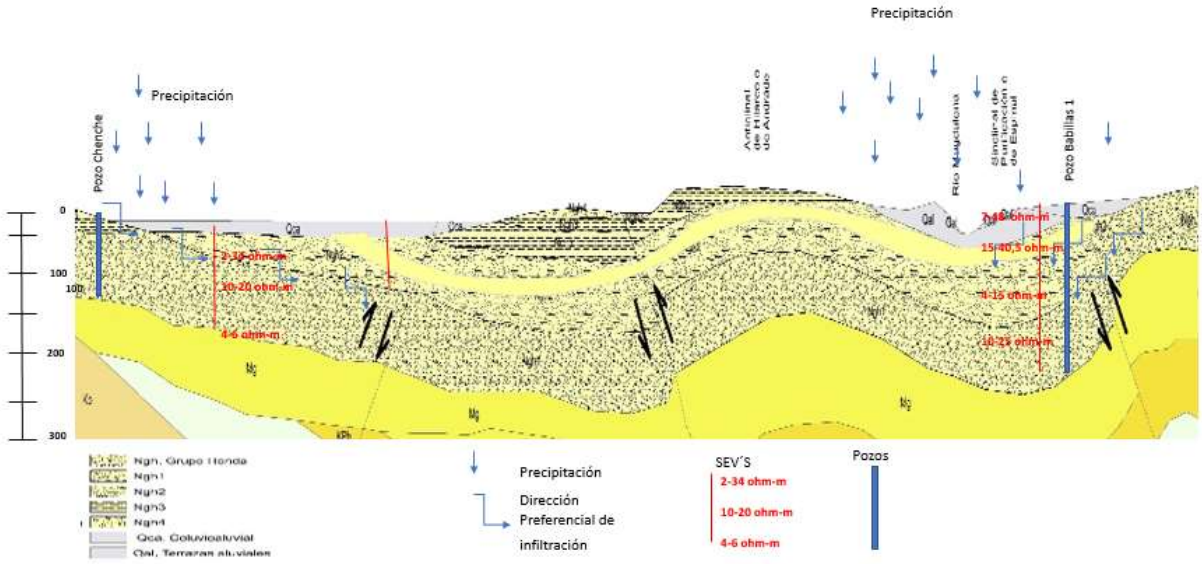
Para las zonas acuíferas del Sur del Tolima, la recarga de la unidad acuífera está controlada principalmente por el marco tectónico regional; el flaco oriental de la Cordillera Oriental presenta un sin número de estructuras (fracturas y fallas), la cual se manifiesta con el control del drenaje superficial, originando patrones rectangulares y anulares, que distribuyen sus aguas de Este a Oeste; estas estructuras constituyen la zona principal de recarga de acuíferos subterráneo presentes en el área de estudio.

En la zona de intercambio cordillera y abanicos existe una alta infiltración y saturación de las rocas arenosas permeables, que controla la recarga y el flujo hacia los acuíferos más profundos a través de las fallas y fracturas asociadas, saturando a su vez los depósitos no consolidados del Grupo Honda (fluviotorrenciales, fluvio-volcánicos y coluviales).

En las zonas más planas, los ríos principales controlan la descarga de carácter local, en sentido SW-NE; especialmente por la dinámica fluvial del río Magdalena, y su recarga depende básicamente de aguas meteóricas. En ellos la permeabilidad es variable y depende esencialmente del mayor o menor contenido en gravas y arenas frente a materiales de grano fino (limos y arcillas).

Según el balance hídrico de largo plazo especializado en el capítulo de Análisis hidroclimatológico del presente proyecto; Se concluye que el mayor aporte probable a la recarga del acuífero se produce por escorrentía producto de las precipitaciones. En la zona noreste del acuífero se presenta el mayor aporte con magnitudes de 600 a 800 mm/año. Por otro lado, la zona sur es la que presenta la menor escorrentía, del orden de 100 a 200 mm/año, situación que podría estar influenciada por poca vegetación de la zona y por la influencia del desierto de la Tatacoa. La mayor parte de la zona de estudio, en especial la zona oriente y centro presenta escorrentías relativamente bajas del orden de 200 a 400 mm/año.

Figura 9. Corte Esquemático interpretativo del modelo Hidrogeológico inicial de Acuisur.



Fuente: Elaboración propia, Proagua, 2018.

5.3 Calidad del agua subterránea

El análisis de la calidad del agua subterránea para el modelo hidrogeológico inicial, se basó en los resultados obtenidos del censo de 2611 usuarios del recurso hídrico desarrollado en el marco de estudio. No solo, se realizó una interpretación estadística ampliamente desarrollada en capitulo Revisión de expedientes y censo de usuarios, sino también de especialización en cuanto a los parámetros de pH, Conductividad eléctrica y temperatura del hídrico

subterráneo. Es importante mencionar que el inventario se realizó en los meses de febrero a agosto de 2018 y tiene la concentración de muestreo hacia la zona centro y norte del área de estudio.

5.3.1 pH

El pH de una muestra de agua es una medida de la concentración de iones de hidrógeno libre (acidez). En aguas naturales se mantiene entre 6,5 y 8, aunque excepcionalmente puede variar entre 3 y 11. Es fácilmente alterable por lo que su determinación debe hacerse en el momento de la toma de la muestra, Sin unidades de medida.

Los rangos usados para clasificar la calidad de la fuente de agua en cuanto al pH se presentan en la Tabla 4.

Tabla 4. Calidad de fuente de Agua en relación al pH

Tipo de fuente	pH
Calidad de Fuente Deficiente	4,5 – 5,0
Calidad de Fuente regular	5,0 – 6,0
Calidad de Fuente Aceptable	6,0 – 8,5
Calidad de Fuente Deficiente	8,5 – 9,0

Fuente: CVC, 2014.

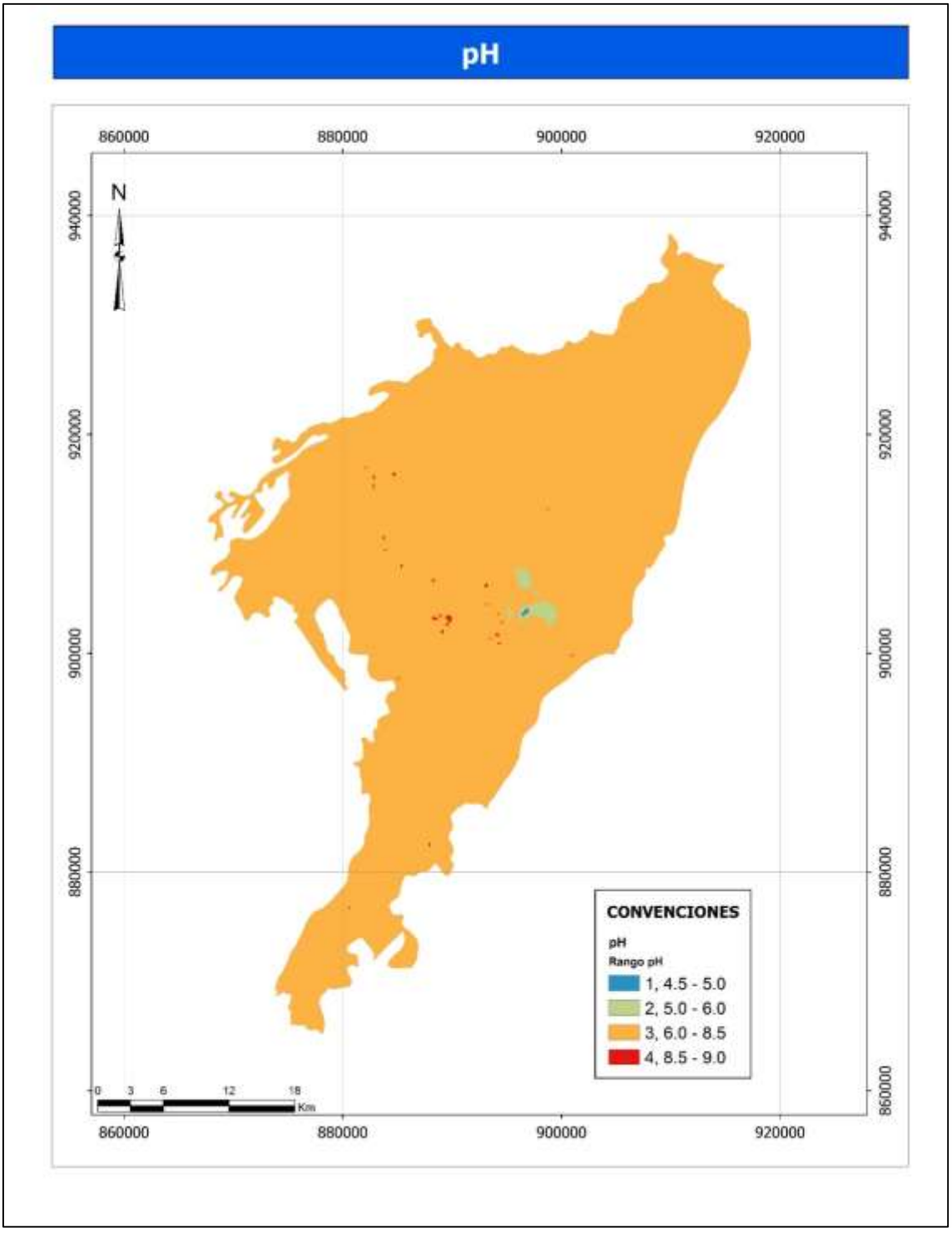
A continuación, en la Tabla 5 y Figura 10. Se muestra la distribución de valores de pH, para Acuisur. Donde 99,36% del área posee una calidad de fuente aceptable.

Tabla 5. Rangos de pH y distribución por área

Rangos	Área (ha)	Área en %
4,5 – 5,0	25,6	0,0183
5,0 – 6,0	741,9	0,053
6,0 – 8,5	138861,3	99,36
8,5 – 9,0	126,8	0,090
Total general	**139755,6**	**100**

Fuente: CVC, 2014.

Figura 10. Mapa de distribución de valores de pH para el Acuífero del Sur del Tolima



Fuente: Elaboración propia. Proagua, 2018.

5.3.2 Temperatura del agua

Las aguas subterráneas tienen una temperatura muy poco variable, y responde a las variaciones medias estacionales de la temperatura ambiente del lugar. La misma se va incrementando en función del gradiente geotérmico o variación de la temperatura con la profundidad que, en áreas continentales, suele ser de 1ºC / 33 m. Afectando a la viscosidad del agua.

Los rangos para la clasificación de aguas subterráneas por temperatura son los siguientes:

Tabla 6. Clasificación de aguas subterráneas por temperatura

Rangos para la clasificación de aguas subterránea por temperatura	
Tipo de agua	**Rango (º C)**
Aguas Hipertermales	> 32º C
Aguas Meso termales o calientes	25 - 32º C
Aguas Hipotermales o poco frías	21 - 25 º C
Aguas frías	15 - 21º C-

Fuente: CVC, 2014.

En cuanto a la temperatura en la Tabla 7 y

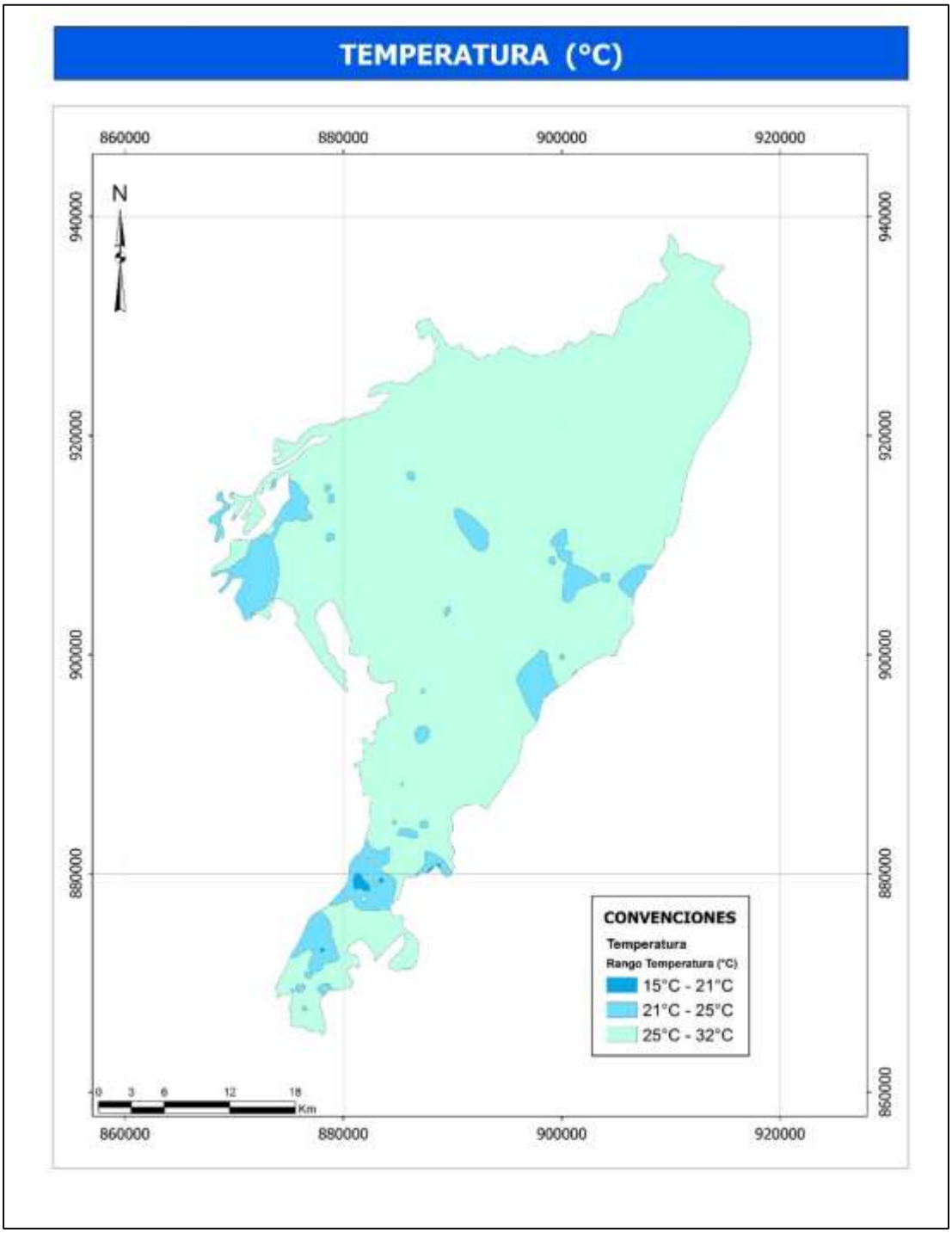
Figura 11. Se muestra la distribución de rangos para Acuisur. Donde 91,83 % del área se encuentra en al rango de aguas Hipotermales o poco Frías.

Tabla 7. Rangos de clasificación de aguas subterráneas por Temperatura.

Rangos	**Has**	**Área en %**
15°C - 21°C	203,7	0,15
21°C - 25°C	11215,6	8,03
25°C - 32°C	128336,9	91,83
Total general	**139756,2**	**100,0**

Fuente: CVC, 2014.

Figura 11. Mapa de distribución de valores de temperatura para el Acuífero del Sur del Tolima.



Fuente: Elaboración propia. Proagua, 2018.

5.3.3 Conductividad eléctrica CE

Se define como la capacidad de una muestra de agua de conducir una corriente eléctrica. En general cuantos más iones disueltos se encuentren presentes en el agua, mayor será la conductancia. Por lo tanto, la conductividad eléctrica está relacionada con TDS.

La conductividad eléctrica del agua también depende de la temperatura del agua: mientras más alta la temperatura, más alta sería la conductividad eléctrica.

La Conductividad eléctrica del agua aumenta en un 2-3% para un aumento de 1 grado Celsius de la temperatura del agua.

La unidad de medición utilizada comúnmente es el Siemens/cm (S/cm), con una magnitud de 10 elevado a -6, es decir micro Siemens/cm (µS/cm), o en 10 elevado a -3, es decir, mili Siemens (mS/cm).

El valor o medida de la conductividad según la calidad del agua es el siguiente:

Tabla 8. Conductividad según la calidad del agua

Calidad de Agua	Conductividad
Agua pura:	0,055 µS/cm
Agua destilada:	0,5 µS/cm
Agua de montaña:	1,0 µS/cm
Agua para uso doméstico:	500 a 800 µS/cm
Máx. para agua potable:	10055 µS/cm
Agua de mar:	52 mS/cm

Fuente: CVC, 2014.

Los rangos de conductividad según la salinidad del agua es el siguiente:

Tabla 9. Conductividad según la salinidad del agua

Calcificación de agua según Salinidad	Rangos C.E.
Agua potable	50 – 1000 uS/cm
Agua dulce	100 - 2000 uS/cm
Agua de mar	45 000 uS/cm
Salmueras	100 000 uS/cm

Fuente: CVC, 2014.

Los valores de CE, medidos en los puntos hidrogeológicos censados en campo, aljibes pozos y manantiales se encuentran distribuidos en un amplio rango de valores (Tabla 10) que varía de 39,8 hasta 5000 µS/cm; en su mayoría el agua presente en las unidades acuíferas, se clasifica como agua dulce apta para uso doméstico.

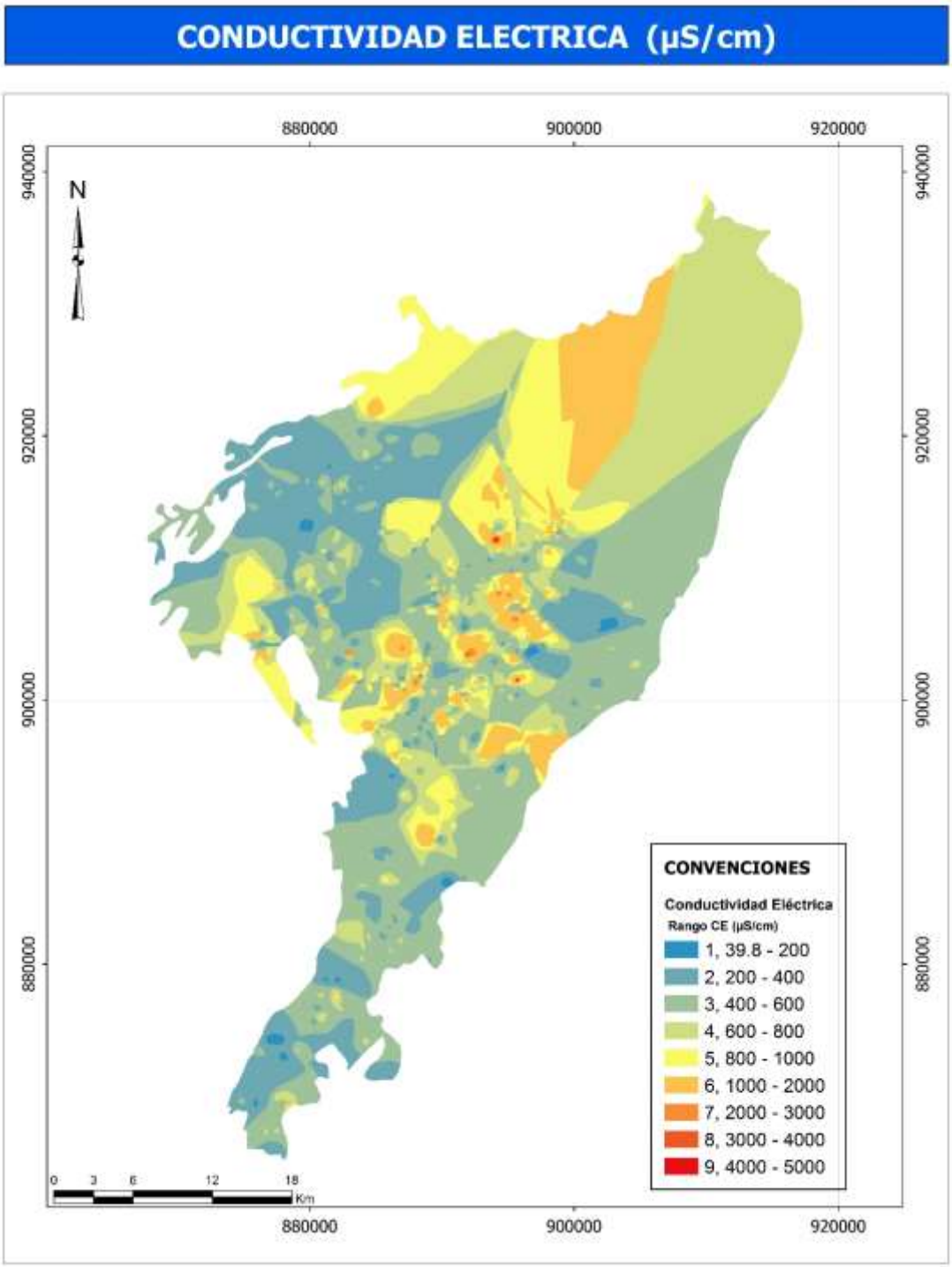
Tabla 10. Rasgos de CE Presentes en el área de estudio

Etiquetas de fila	Suma de Has	Área en %
1000 - 2000	12399,7	0,089
200 - 400	27029,2	0,194
2000 - 3000	156,0	0,002
3000 - 4000	17,8	0,001
39.8 - 200	501,3	0,004
400 - 600	48127,4	0,345
4000 - 5000	9,0	0,001
600 - 800	33901,0	0,243
800 - 1000	17614,6	0,127
Total general	**139756,2**	**100**

Fuente: Elaboración propia. Proagua, 2018.

La Figura 12, muestra la distribución de los valores de conductividad en el área de estudio. Donde se observa que, hacia el norte del área, y en el valle del rio magdalena se asocian valores de conductividad eléctrica entre 800 y 3000 µS/cm, correspondientes a depósitos aluviales y coluvio aluviales recientes (Qal). Mientras que los valores de CE Asociados al Grupo Honda varían entre 200 y 800 µS/cm, dichos valores de conductividad muestran un claro contraste de la litología presente en el área.

Figura 12. Distribución de valores de conductividad eléctrica



Fuente: Elaboración propia. Proagua, 2018.

6 VULNERABILIDAD INTRINSECA DE LOS ACUÍFEROS

Esta metodología comprende tres parámetros: G, O y D; cuyos valores son asignados de acuerdo con la contribución en la defensa a la contaminación, (Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial Viceministerio de Ambiente grupo de recurso hídrico, 2010), (Figura 13).

A continuación, se describen los parámetros a evaluar:

G: (Groundwater occurrence) Corresponde al grado de confinamiento hidráulico con la identificación del tipo de acuífero.

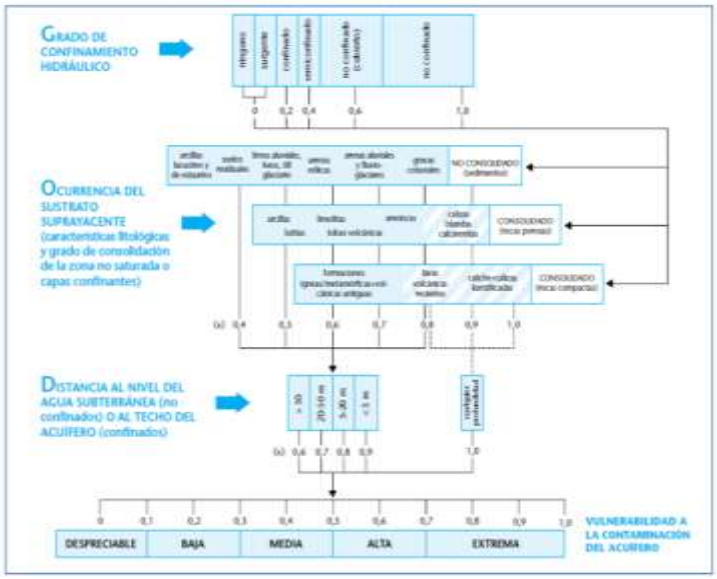
O: (Overall aquifer class) Corresponde a la caracterización de la zona no saturada del acuífero o de las capas confinantes.

D: (Depth). Se refiere a la profundidad del nivel freático en acuíferos libres o a la profundidad del techo del acuífero, en los confinados. Para el caso de los acuíferos libres la profundidad del nivel estático está sujeta a la oscilación natural.

El índice de vulnerabilidad GOD se obtiene, entonces, de multiplicar los valores asignados a cada parámetro.

$$iV_{GOD} = G \times O \times D$$

Figura 13. Esquema Metodología GOD.



Método GOD

PUNTAJE	VULNERABILIDAD
0.7 – 1.0	Muy alta
0.5 – 0.7	Alta
0.3 – 0.5	Moderada
0.1 – 0.3	Baja
< 0.1	Muy baja

Categorías de Vulnerabilidad

Fuente: MADS, (2010).

Los valores asignados a cada parámetro para evaluar la vulnerabilidad en la de las unidades acuíferas de Acuisur, están basados en los datos tomados en campo en las campañas de Geología, censo de usuarios e inventario de puntos hidrogeológicos (Tabla 11).

Tabla 11. Parámetros para evaluar Vulnerabilidad intrínseca a la contaminación

Parámetro a Evaluar	Descripción	Puntuación	IV GOD = G*O*D	Categoría de Vulnerabilidad
G:Grado de confinamiento Hidráulico	Acuífero libre, y semi confinado.	0,4	**0,26**	**MODERADA (0,3 - 0,5)**
O:Ocurrencia del sustrato suprayacente	arenas, gravas, depósitos aluviales y fluvioglaciares	0,8		
D: Distancia al Nivel del agua subterránea	Nivel estático promedio medido en aljibes 5,18 metros	0,8		

Fuente: Elaboración propia. Proagua, 2018.

Dadas las características y ambiente hidrogeológico del acuífero presente, se concluye que su vulnerabilidad intrínseca a la contaminación es Moderada o Vulnerable a mediano plazo a la mayoría de contaminantes.

7 NECESIDADES DE INFORMACIÓN Y CONOCIMIENTO DEL COMPONENTE HIDROGEOLÓGICO

Se considera necesaria la actualización del inventario de puntos de agua subterránea, lo cual brinda información importante para el conocimiento de aspectos relacionados con el funcionamiento del sistema acuífero, teniendo como referencia para el establecimiento de la densidad de puntos a inventariar las recomendaciones establecidas en la Guía metodológica para la formulación de los planes de manejo ambiental de acuíferos del Ministerio de Ambiente.

Con la información obtenida producto del inventario, la corporación podrá actualizar concesiones de agua otorgadas para la explotación del recurso o realizar nuevas concesiones, así como plantear el diseño de redes de monitoreo para evaluar los niveles y las condiciones de calidad del agua.

Para el caso del monitoreo de niveles, es importante considerar la realización de mínimo dos campañas al año, a fin de considerar épocas de lluvias y épocas secas, para analizar la variabilidad de los niveles estáticos y relación con el cambio climático.

Se requiere de un Programa de Exploración Geofísica de aguas subterráneas Mediante Sondeos Eléctricos Verticales y/o Tomografías eléctricas en las zonas de abanicos y depósitos cuaternarios principalmente.

Para las zonas de falla y valle del río magdalena, se recomienda realizar Líneas de refracción sísmica, con el objetivo de identificar la forma de las estructuras y delimitar las áreas de recarga y por ende de protección.

De la misma manera se recomienda realizar pruebas de bombeo distribuidas en el área de estudio que permitan establecer la variación de los parámetros hidráulicos de los acuíferos, cuyos resultados permitan evaluar el potencial y volumen del recurso hídrico del subsuelo bajo distintos criterios de los aspectos técnicos y prioridades de exploración regional como una base para una alternativa necesaria hacia el futuro.

Este programa permitirá generar nuevo conocimiento hidrogeológico. Igualmente es necesario avanzar en el estudio del tema de las aguas termominerales, mediante un Inventario de fuentes termales que permita avanzar en lineamientos de política para su aprovechamiento.

8 CARACTERIZACIÓN CLIMATICA

La solicitud de información al IDEAM se hizo de manera diaria y mensual. La información diaria se utilizó como insumo para la modelación hidrológica, por su parte la información mensual además de permitir un análisis en esta temporalidad permite hacer también un análisis de manera anual, esto con el fin de poder generar una caracterización más completa de las condiciones climáticas predominantes. La caracterización climatológica del área de estudio se realizará a partir de los siguientes parámetros climatológicos:

- Precipitación Total Diaria y Total Mensual
- Evaporación Total Mensual
- Temperaturas Mensuales (media, máxima y mínima).
- Brillo solar Mensual.
- Humedad relativa Mensual.
- Velocidad y dirección del viento Mensuales.

8.1 Selección de la información

Para realizar la caracterización climatológica e hidrológica de la zona de estudio se consultó la base de datos del el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia (IDEAM). En principio se examinó el shape proporcionado por la entidad el cual contiene las estaciones hidroclimatológicas del país. Se identificaron las estaciones ubicadas en las zonas de los departamentos que hacen parte del acuífero, específicamente las estaciones situadas en el centro y sur del Tolima y las situadas en el norte del Huila.

De esta primera selección se obtuvieron 70 estaciones potenciales, de las cuales 43 son Climáticas, es decir Meteorológicas y 28 estaciones son Hidrológicas. Del total de las estaciones 40 estaciones están a la fecha activas y 30 se encuentran suspendidas. Se procedió a seleccionar las estaciones teniendo en cuenta los siguientes criterios:

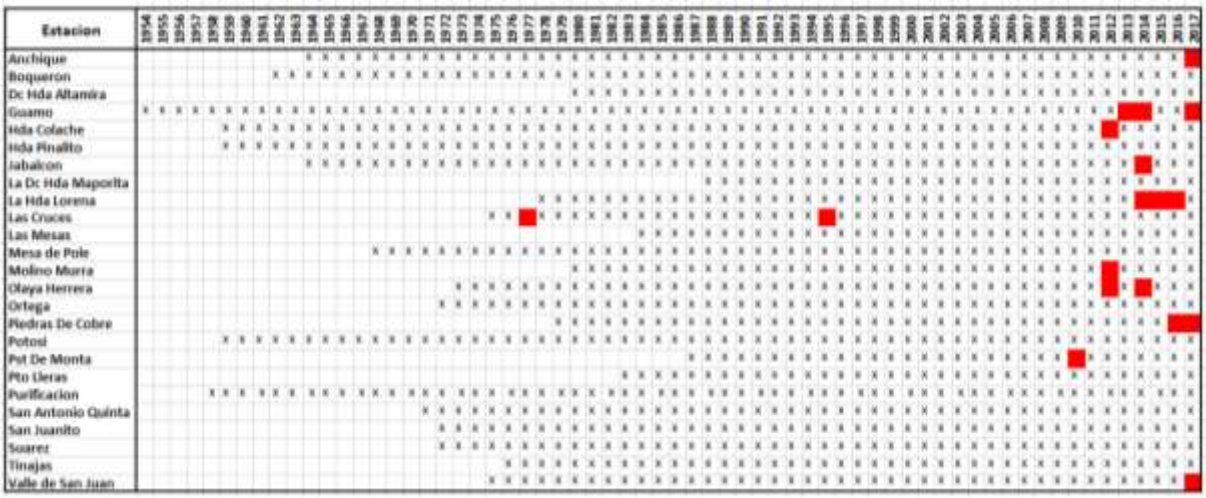
- Mayor longitud de los registros históricos.
- Registros actualizados o recientes.
- Ubicación espacial de las estaciones dentro de la zona de estudio y cercanas a ella.

8.2 Red Meteorológica

Establecer el periodo común de registro para el análisis climatológico implica revisar los datos de cada una de las estaciones verificando los periodos en los cuales se cuenta con el mayor número de datos de manera continua. De las 40 estaciones climatológicas potenciales se escogen las 25 estaciones que cumplen con los criterios anteriormente mencionados. En la Tabla 12 se presentan las estaciones climatológicas con su respectivo periodo común de

registros específicamente para la variable precipitación, para la cual las x corresponden a los años que tienen datos de precipitación y el color rojo corresponde a los años completos con datos faltantes. De esta manera se observa que la estación con mayor número de años de registro es Guamo, cuya fecha de instalación fue en 1953, es decir que tiene un total de 64 años de funcionamiento. Las estaciones con menos años de registro son Pst de Monta y Las Mesas, cuyas actividades inician en los años de 1987 y 1983, y presentan un periodo continuo de registros de 30 y 34 años.

Tabla 12. Periodo común de registro de las Estaciones Climatológicas - Precipitación.

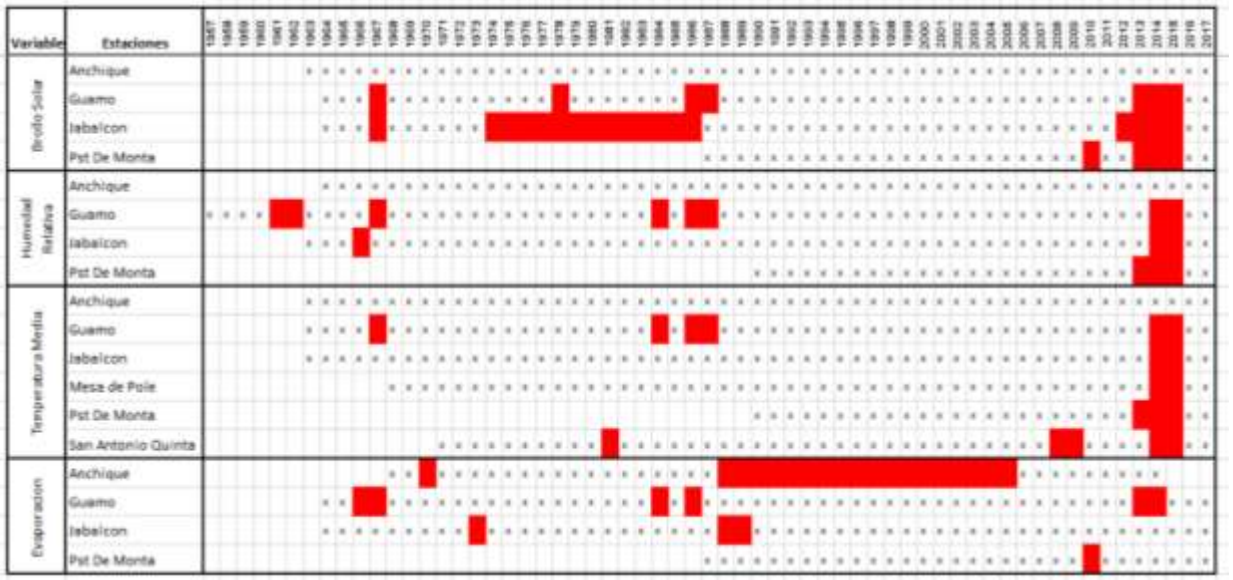


Fuente: Elaboración Propia a partir de la información proporcionada por el IDEAM. Proagua, 2018.

Los años de registro de las estaciones seleccionadas para las variables climáticas de Brillo solar, Humedad relativa, Temperatura media y Evaporación se presentan en la Tabla 13. Para el análisis de estas variables se decidió escoger las 4 estaciones se encuentran dentro de la zona de estudio y que están mejor distribuidas, a excepción de la temperatura que para su análisis fue necesario seleccionar 2 estaciones más. La **X** corresponde a los años que tienen datos y el color rojo reporta los años completos con datos faltantes.

Se define el periodo común de registro de enero de 1990 hasta diciembre de 2011 para un total de 21 años de registros continuos. La variable precipitación, por ser la más estudiada, es la que presenta mayor periodo de registros continuos, sin embargo, variables como la evaporación y brillo solar, entre otras, presentan en muchas ocasiones ausencia de registros de manera continua, lo cual dificulta en la determina del periodo común de registro para que sea amplio y reciente. Las dinámicas de cada estación asociada a la calidad y la usencia de datos pueden ocurrir por algunas razones entre ellas: daños en los equipos de medición, por ausencia de personal capacitado que los registre, entre otros.

Tabla 13. Periodo común de registro de las Estaciones Climatológicas – Brillo Solar, Humedad relativa, Temperatura media y Evaporación.



Fuente: Elaboración Propia a partir de la información proporcionada por el IDEAM. Proagua, 2018.

En la Tabla 14, se presentan la información de las 25 estaciones seleccionadas para el análisis climatológico. Dichas estaciones son de tipo Convencional y clase Meteorológica. Respecto a la categoría se tiene que 17 estaciones son Pluviométricas (Pm), 3 son Climatológicas Principales (Cp) y 3 son Climatológicas Ordinarias (Co). Estas estaciones presentan elevaciones que van desde los 290 hasta los 1448 msnm, de esta manera 22 estaciones están por debajo de los 1000 msnm, mientras que, solo 3 estaciones se encuentran por encima.

Con el Modelo Digital de Elevación (DEM) de 30 m de resolución, descargado de la página del Servicio geológico de los Estados Unidos[1] (USGS), se realizó una comparación con las elevaciones de las estaciones reportadas en el shape del IDEAM. Se observó unas grandes diferencias en las estaciones de Guamo y Piedras de Cobre, las cuales reportaban altitudes por encimas de los 3000 msnm para el caso del shape, siendo necesario ajustar esta altitud, dado que se encuentran ubicadas en la zona de planicie cerca al rio Magdalena, con altitudes que están alrededor de los 300 a 400 msnm. Por lo anterior Guamo quedo con una elevación de 331 msnm y Piedras de cobre con 359 msnm.

En la Figura 14, se observan la ubicación de las Estaciones Climatológicas seleccionadas para el análisis en el área del acuífero y sus alrededores, de esta forma 10 estaciones se encuentran dentro de la zona de estudio, mientas que 15 estaciones están alrededor de la misma. Dichas estaciones se identifican según su categoría, de este modo las estaciones Climatológicas

[1] https://www.usgs.gov/

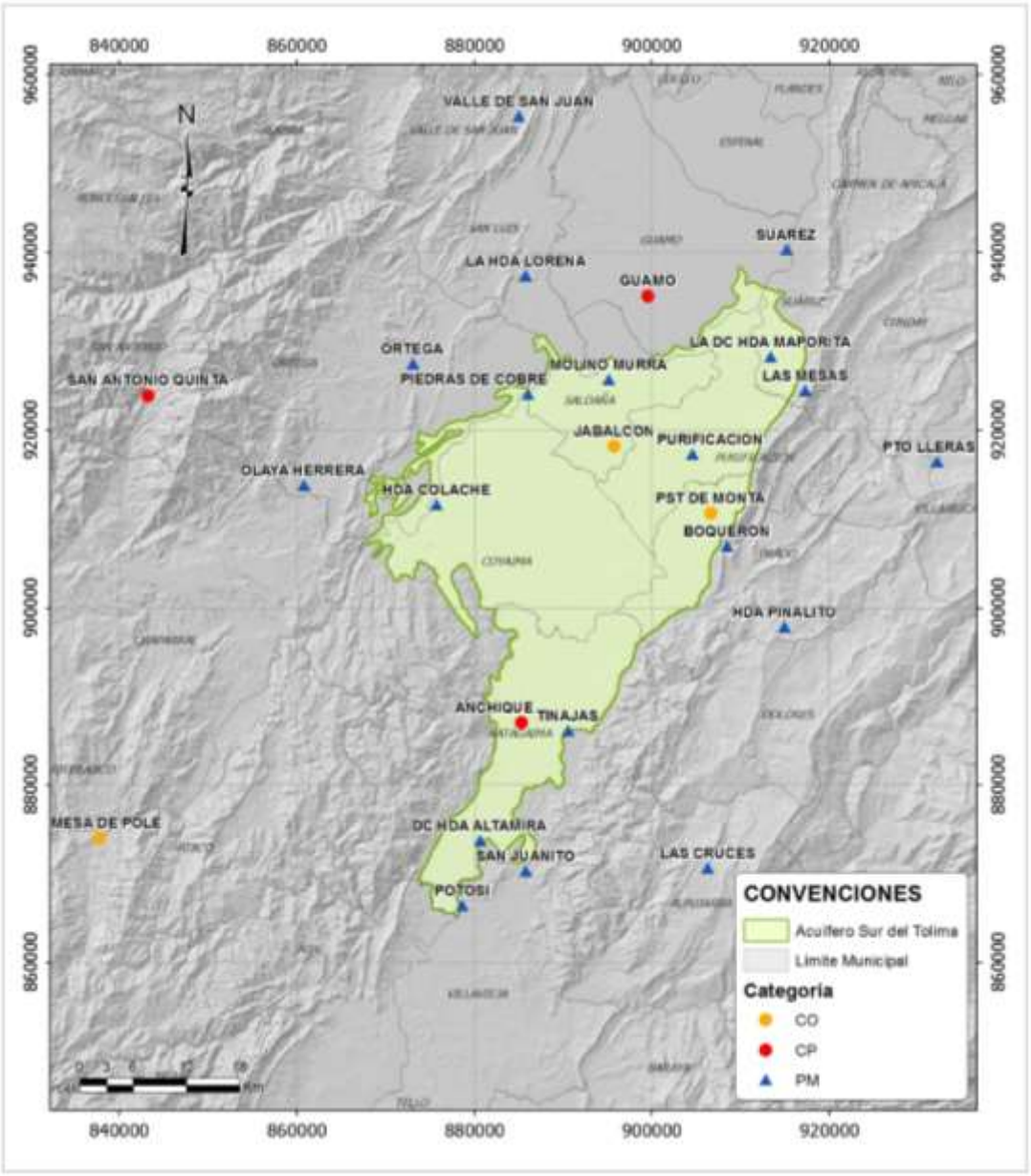
Ordinarias (Co) se diferencian con un círculo rojo, las Climatológicas principales (Cp) con un círculo amarillo, y las estaciones Pluviométricas (Pm) con un triángulo azul.

Tabla 14. Información de las Estaciones Climatológicas Seleccionadas.

No	Código	Nombre	Cat	Estado	Depto	Mpio	Lat	Long	Altitud	Fecha Instalación
1	21135030	Anchique	Cp	Act	Tolima	Natagaima	3,574	-75,109	415	15/12/1963
2	21160080	Boqueron	Pm	Act	Tolima	Prado	3,754	-74,901	337	15/03/1962
3	21130180	Dc Hda Altamira	Pm	Act	Tolima	Natagaima	3,454	-75,151	500	15/11/1979
4	21185030	Guamo	Cp	Act	Tolima	Guamo	4,009	-74,981	331	15/12/1953
5	22050030	Hda Colache	Pm	Act	Tolima	Coyaima	3,795	-75,196	384	15/10/1959
6	21160050	Hda Pinalito	Pm	Act	Tolima	Prado	3,672	-74,843	827	15/02/1959
7	21135020	Jabalcon	Co	Act	Tolima	Saldaða	3,856	-75,016	332	15/05/1963
8	21170030	La Dc Hda Maporita	Pm	Act	Tolima	Su⊥Rez	3,947	-74,857	311	15/11/1979
9	21180120	La Hda Lorena	Pm	Act	Tolima	San Luis	4,029	-75,106	450	15/01/1978
10	21140120	Las Cruces	Pm	Act	Tolima	Alpujarra	3,426	-74,920	1,400	15/10/1974
11	21170040	Las Mesas	Pm	Act	Tolima	Su⊥Rez	3,912	-74,822	849	15/09/1983
12	22055020	Mesa De Pole	Co	Act	Tolima	Ataco	3,456	-75,536	699	15/03/1968
13	22050090	Molino Murra	Pm	Act	Tolima	Saldaða	3,923	-75,021	324	15/01/1980
14	22060090	Olaya Herrera	Pm	Act	Tolima	Ortega	3,815	-75,330	450	15/07/1973
15	22060070	Ortega	Pm	Act	Tolima	Ortega	3,939	-75,220	388	15/11/1971
16	22060100	Piedras De Cobre	Pm	Act	Tolima	Saldaða	3,908	-75,103	359	15/04/1979
17	21110090	Potosi	Pm	Act	Huila	Villavieja	3,387	-75,169	400	15/02/1959
18	21165010	Pst De Monta	Co	Act	Tolima	Prado	3,788	-74,917	321	15/03/1987
19	21160180	Pto Lleras	Pm	Act	Tolima	Villarica	3,840	-74,688	1,209	15/09/1983
20	21130010	Purificacion	Pm	Act	Tolima	Purificación	3,847	-74,937	305	15/05/1958
21	22065040	San Antonio Quinta	Cp	Act	Tolima	San Antonio	3,907	-75,488	1,448	15/12/1971
22	21140100	San Juanito	Pm	Act	Huila	Villavieja	3,423	-75,105	368	15/07/1969
23	21180160	Suarez	Pm	Act	Tolima	Guamo	4,056	-74,842	319	15/12/1971
24	21150030	Tinajas	Pm	Act	Tolima	Natagaima	3,566	-75,063	290	15/09/1975
25	21180210	Valle De San Juan	Pm	Act	Tolima	Natagaima	4,192	-75,113	591	15/11/1971

Fuente: Elaboración Propia a partir de la información proporcionada por el IDEAM. Proagua, 2018.

Figura 14. Estaciones Meteorológicas.



Fuente: Elaboración Propia a partir de la información proporcionada por el IDEAM. Proagua, 2018.

8.3 Precipitación

La mayor parte del agua que se precipita sobre el Planeta Tierra proviene de la humedad que se evapora de las superficies de agua, como océanos, lagos, ríos, entre otros y que es transportada por la circulación atmosférica a lo largo de grandes distancias. Las dos fuerzas básicas para la circulación atmosférica resultan de la rotación de la Tierra y de la transferencia de energía calórica entre el ecuador y los polos (Chow *et al*., 1994).

La precipitación es una de las variables más importantes del estudio climatológico, la cual está caracterizada por presentar alta variación y dispersión de sus magnitudes en el espacio y en el tiempo. Por esta razón se decide hacer solo el Análisis Exploratorio y Confirmatorio de Datos a dicha variable con el fin de conocer la cantidad y calidad de la información. En este caso se decidió trabajar con datos de precipitación totales mensuales.

8.3.1 Análisis exploratorio y confirmatorio de datos

Es importante indicar que estos análisis estadísticos solo se aplicaran para la variable de precipitación, ya que se considera el parámetro más estudiado pues corresponde a la principal entrada de agua en una cuenca o zona de estudio, y es caracterizado por una gran variedad en magnitud con respecto al tiempo y al espacio. Se realizó el procesamiento de la información de la precipitación con el objetivo de verificar la consistencia de los datos, el cual se basó en identificar y completar datos faltantes (DF), realizar un análisis gráfico, detectar datos atípicos, realizar el análisis descriptivo numérico, la prueba de normalidad y el análisis confirmatorio.

8.3.2 Cálculo y análisis de datos faltantes (DF)

El análisis de DF es un procedimiento que utiliza información contenida en una muestra para asignar un valor a la variable que carezca de algún o algunos valores en su serie. Esta ausencia de información puede atribuirse a que no se registró dicho valor en la estación o porque se detecta que el comportamiento no corresponde con el esperado. El objetivo principal para hallar un dato faltante, es poder obtener un conjunto de datos con información completa y consistente, para posteriormente aplicar técnicas estadísticas (Castro, 2013).

Una vez se identificaron los DF de las series, se procedió a completarlos utilizando primero el método de proporciones normales para estaciones cercanas aplicando la siguiente ecuación **(**Paulhus y Kohler, 1952)**:**

$$p_x = {}^{N_x}/_{n}\left[\left({}^{P_1}/_{N_1}\right) + \left({}^{P_2}/_{N_2}\right) + \cdots + \left({}^{P_n}/_{N_n}\right)\right] \qquad \textbf{Ecuación 1}$$

Donde;

Px: Valor de dato climatológico de la estación "x" durante el período de tiempo por completar.

n: número de estaciones climatológicas con datos de registros continuos cercanas a la estación "x", la cual va a ser completada en su registro.

P1 a Pn: Magnitud de dato climatológico de las estaciones 1 a n, en el período de tiempo por completar.

Nx: Valor de dato climatológico medio anual de la serie histórica de la estación "x"

N1 a Nn: Valor de dato climatológico media anual de las series históricas de las estaciones de 1 a n.

En el caso que todas las estaciones posean datos faltantes para una fecha en específico, se procede a implementa el método de proporciones normales, pero para una sola estación, el cual utiliza su propia información. Este método solo se puede aplicar siempre y cuando el número de DF sea menor del 10% del total de la serie. La ecuación es la siguiente:

$$DF = \frac{P_t}{P_m - \bar{x}} \cdot \bar{x} \qquad \textbf{Ecuación 2}$$

Dónde;

DF: dato faltante.

P_t: Valor de dato climatológico que corresponde a la suma de los datos del mes faltante.

$\bar{x}$: Valor de dato climatológico medio multianual del mes faltante.

P_m: Valor de dato climatológico medio del total anual.

Se seleccionó la información de precipitación de las estaciones Climatológicas según el periodo común de registro y se determinó el número de datos faltes (DF) y el porcentaje de los mismos (%DF), ver Tabla 15. De las 25 estaciones 8 están completas y 15 presentan DF. Ninguna de las estaciones supera el 10% de DF, lo cual garantiza un análisis estadístico más robusto y con menos incertidumbre. Las estaciones Pst de Monta y Las Cruces presentan el mayor número de DF con %DF de 4.9 y 3.8 % respectivamente. Para calcular los datos faltantes se utilizó primero la Ecuación 1, la cual permite determinar los datos a partir de las magnitudes de las estaciones cercas a la estación que se desee calcular el DF. Solo se utilizó la **Ecuación 2**, para el caso en el que no hubo datos en ninguna estación cercana a la estación del DF para un mes y año especifico.

Tabla 15. Datos Faltantes de las Series de Precipitación Total Mensual.

N°	Estación	N° de Datos Faltantes	% de Datos Faltantes
1	Anchique	0	0,0
2	Boqueron	2	0,8
3	Dc Hda Altamira	0	0,0
4	Guamo	5	1,9
5	Hda Colache	6	2,3
6	Hda Pinalito	1	0,4
7	Jabalcon	3	1,1
8	La Dc Hda Maporita	0	0,0
9	La Hda Lorena	2	0,8

Tabla 15. Datos Faltantes de las Series de Precipitación Total Mensual. (Continuación)

N°	Estación	N° de Datos Faltantes	% de Datos Faltantes
10	Las Cruces	10	3,8
11	Las Mesas	0	0,0
12	Mesa De Pole	8	3,0
13	Molino Murra	0	0,0
14	Olaya Herrera	2	0,8
15	Ortega	3	1,1
16	Piedras de Cobre	6	2,3
17	Potosi	0	0,0
18	Pst de Monta	13	4,9
19	Pto Lleras	8	3,03
20	Purificacion	1	0,4
21	San Antonio Quinta	0	0,0
22	San Juanito	1	0,4
23	Suarez	0	0,0
24	Tinajas	1	0,4
25	Valle de San Juan	4	1,52

Fuente: Elaboración Propia a partir de la información proporcionada por el IDEAM. Proagua, 2018.

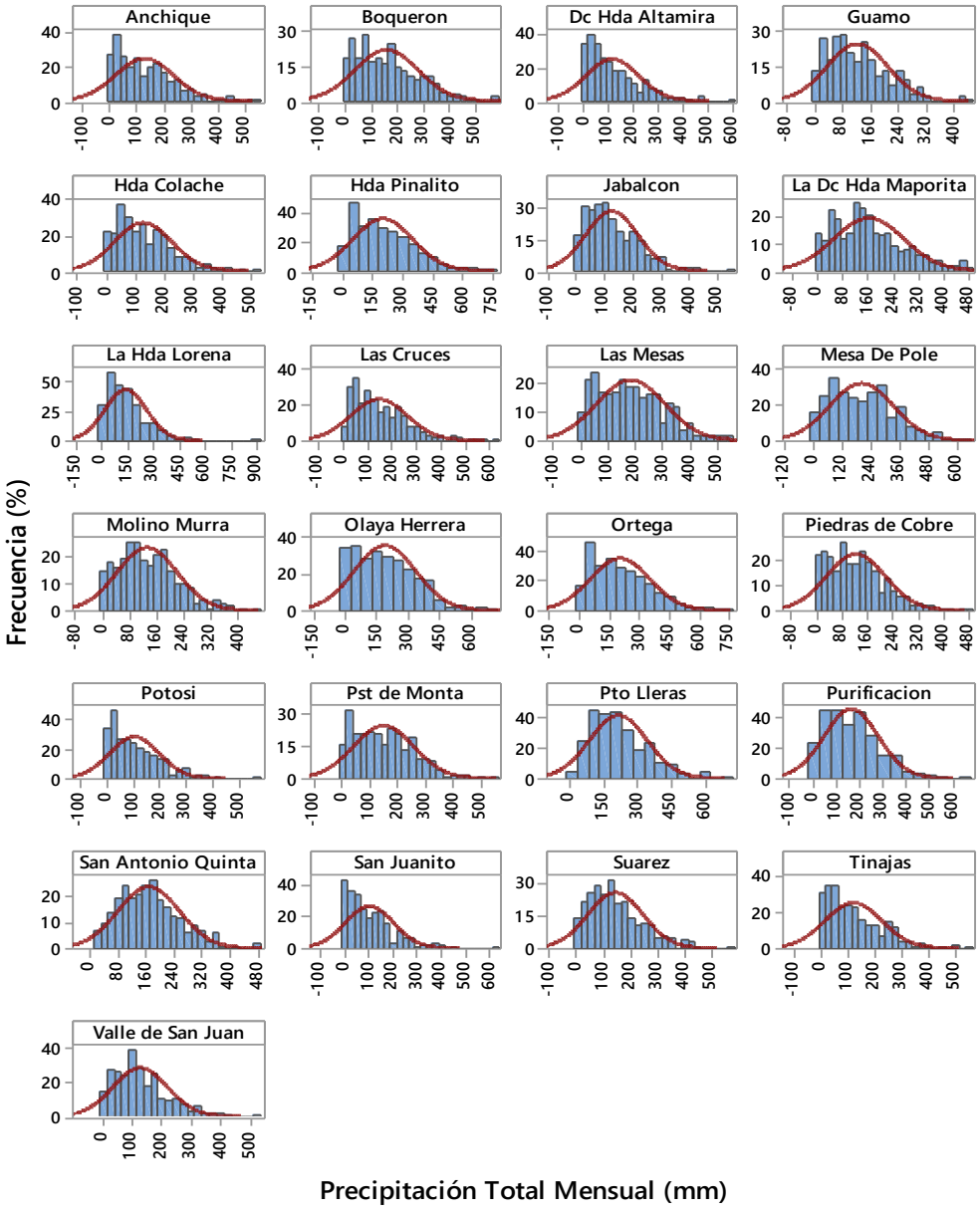
8.3.3 Análisis gráfico de precipitación de las series históricas.

Para comprobar visualmente el comportamiento y cambios en las series de tiempo seleccionadas, se realizaron histogramas de frecuencias y diagramas de cajas. Los primeros permitieron observar la forma, el número de picos y la frecuencia, para de esta manera conocer que valores se presentan más a menudo y cuáles son las precipitaciones mensuales menos frecuentes. Con los diagramas de cajas se identificó de manera general la tendencia central de los datos, es decir cómo se distribuyen respecto a la mediana e inferir sobre la variabilidad, la simetría y la presencia de valores atípicos (Castro y Carvajal, 2010). Estos grafico se realizaron haciendo uso del programa Minitab 17 que es un tipo de herramienta estadista que permite el análisis con precisión numérica y representación gráfica.

Histogramas de Frecuencias

En la Figura 15 se observa los histogramas de precipitación total mensual de las estaciones y la campana de Gauss característica de la distribución Normal superpuesta sobre ellas, esto con el fin de observar de manera gráfica que tanto los datos se distribuyan normalmente.

Figura 15. Histogramas de las series de precipitación Total Mensual (1990 - 2011).



Fuente: Elaboración Propia a partir de la información proporcionada por el IDEAM. Proagua, 2018.

La estación que presenta mayor rango de precipitación es La Hda Lorena, con magnitudes de 0 a 900 mm según las clases definidas en el histograma, la moda de esta estación que corresponde a la precipitación mensual que más se repite es de 50 mm y las menos frecuentes son las que están entre 450 y 900 mm. Por su parte las estaciones de Guamo y Molino Murra presentan los menores rangos precipitaciones mensuales los cuales están entre 0 y 440 mm, con modas de 80 mm para el Guamo y 80 a 100 mm para Molino Murra. El rango de 0 a 500

mm es el que se presenta para la mayoría de las estaciones, 9 de las 23 estaciones registran precipitaciones mensuales en este rango.

En general, se observó que la distribución de las frecuencias de las precipitaciones mensuales no tiene un comportamiento simétrico, ni se distribuyen según la campana de Gauss, es decir que esta variable visualmente no se distribuye de manera normal para estas estaciones. Las estaciones muestran un comportamiento asimétrico con cola de bajas precipitaciones hacia el lado derecho, lo que indica que las precipitaciones con mayor frecuencia son las de menor magnitud.

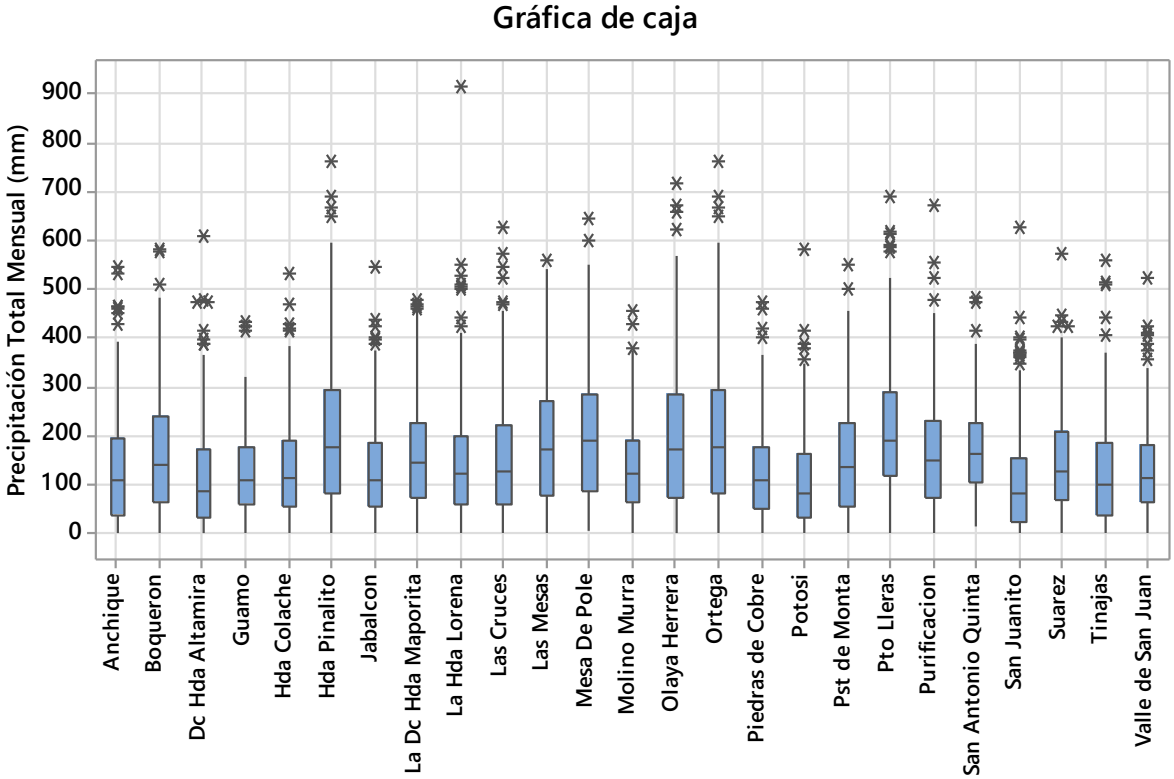
Diagrama de cajas

El diagrama de cajas y bigotes, es un gráfico representativo de un conjunto de datos, que permite ilustrar gráficamente los estadísticos y las distribuciones de diferentes parámetros. Presenta al mismo tiempo, información sobre la tendencia central, dispersión y simetría de los datos de estudio; también se permite comparar a la vez varios grupos de datos sin perder información ni saturarse de ella.

En el diagrama de cajas se muestra el comportamiento de las estaciones bajo una misma escala de medida permitiendo observar la dispersión y la variabilidad de los datos entre las mismas estaciones. En la Figura 16 se puede observar el cuartil 2 (Q_2) o mediana representado por la línea horizontal dentro de cada caja, el cual define la magnitud de la precipitación para la cual se presentan el 50% de los datos cuando se organizan en orden ascendente. Dichas medianas oscilan entre 80 y 180 mm aproximadamente.

En el diagrama de cajas además se puede observar dos elementos relacionados con la dispersión. Uno de ellos es el Rango Intercuartílico (RI) el cual hace referencia a la amplitud de la caja del mismo. Un RI amplio implica mayor dispersión de los datos en general, de esta manera las estaciones con los RI más amplios y por lo tanto las que presentan mayor dispersión son Olaya Herrera y Hda Pinalito, mientras que las estaciones que presentan el menor RI son Valle de San Juan y Guamo. El otro elemente relacionado la con la dispersión hace referencia a las longitudes de los bigotes. Un bigote más corto implica una mayor concentración de los datos, lo cual se observa en el diagrama de cajas para las precipitaciones de menor magnitud, por el contrario, los bigotes largos implican que los datos de precipitación de mayor magnitud son más dispersos, lo cual es característico de la variable precipitación.

Figura 16. Diagrama de caja de las series de precipitación Total Mensual (1990 - 2011).



Fuente: Elaboración Propia a partir de la información proporcionada por el IDEAM. Proagua, 2018.

Las estaciones Tinajas, San Juanito, Potosi, Dc Hda Altamira y Anchique presentan los bigotes inferiores más cortos, lo que quiere decir que sus precipitaciones con valores inferiores a la mediana se encuentran más concentrados. Por otra parte, las estaciones que poseen bigotes superiores más largos son Olaya Herrera, Hda Pinalito, Mesa de Pole y Las Mesas, esto quiere decir que estas estaciones presentan series de datos en las cuales las magnitudes de la precipitación son más dispersas por encima de la mediana que las demás estaciones.

Todas las estaciones presentan datos atípicos que sobresalen al límite superior de datos atípicos (LS) definido por el bigote superior. Sobresale el dato atípico de La Hda Lorena, ya que este se encuentra muy alejado de los demás datos atípicos, sin embargo, en la sección del Análisis Numérico cuando se hace la determinación de Datos Atípicos se hace un análisis más profundo de los mismos para definir si se aceptan o si deben ser eliminados.

8.3.4 Análisis descriptivo numérico de precipitación de las series históricas

El análisis numérico se realizó con la herramienta SPSS 24 que permite el tratamiento de datos para el análisis estadístico y tiene una versión gratuita. Con este programa se determinó las medidas de tendencia central como la media y la mediana, y las medidas de dispersión como la desviación estándar y el coeficiente de variación. Asimismo, se calcularon el coeficiente de asimetría y el coeficiente de Curtosis (CK).

El Coeficiente de Curtosis (CK) analiza el grado de concentración que presentan los valores alrededor de la zona central de la distribución (Gorgas et al 2011). Se definen 3 tipos de distribuciones según el valor obtenido:

- Distribución mesocúrtica: presenta un grado de concentración medio alrededor de los valores centrales de la variable, el mismo que presenta una distribución normal (K=0).
- Distribución leptocúrtica: presenta un elevado grado de concentración alrededor de los valores centrales de la variable (K>0).
- Distribución platicúrtica: presenta un reducido grado de concentración alrededor de los valores centrales de la variable (K<0).

El Coeficiente de Variación (CV) determina la relación entre la desviación estándar y la media. Este coeficiente es muy útil ya que permite comparar la dispersión de datos de dos o más poblaciones cuando sus medias son diferentes (Gorgas, *et al* 2011).

$$CV = \frac{\sigma}{\mu} \qquad \textbf{Ecuación 3}$$

Dónde;

CV: Coeficiente de Variación.
σ: Desviación Típica.
μ: Media.

Los anteriores estadísticos básicos se calcularon para cada una de las series de precipitación total mensual, los cuales se muestran en la Tabla 16. El mayor rango de registros de precipitación mensual la presentan la estación La Hda Lorena, ya que reporta para el periodo común de registros una magnitud máxima de 914,0 mm y una mínima de 0 mm. Mientras que, las que presentan unos rangos de registros de precipitaciones más cortos son las estaciones Guamo y Molino Murra, con magnitudes máximas históricas mensuales de precipitación de 434,3 y 453,0 mm respectivamente y mínimas de 0 mm para ambas.

La media es un parámetro que no representa adecuadamente el comportamiento de la precipitación cuando se presenta una alta dispersión de los datos alrededor de la misma. En general las magnitudes de precipitaciones medias y medianas guardan una relación similar para todas las estaciones, los valores medios están entre 104,9 y 213,4 mm, mientras que los valores medianos de precipitación están entre 78,3 y 187,5 mm. En todos los casos la precipitación media es mayor a la mediana y esto infiere que las series presentan una distribución asimétrica con cola a la derecha y concentración hacia el lado izquierdo, es decir que las precipitaciones con magnitudes menores son las que están más concentradas, confirmando lo que ya se ha visto gráficamente.

Desde el punto de vista de la dispersión de los datos es mucho mejor utilizar el parámetro del CV ya que corresponde a la desviación estándar expresado como porcentaje de la media, y que por lo tanto es adimensional. Este parámetro es muy útil para comparar la variabilidad relativa entre distribuciones que no están expresadas en la misma unidad de medida o en otras distribuciones, o que, si bien están expresadas en la misma unidad, poseen promedios diferentes. De esta manera las estaciones que presentan mayor dispersión son San Juanito y Dc Hda Altamira con un CV de 94,8 y 93,0 %; mientras que, San Antonio Quinta es la que menor dispersión presenta con un CV de 52,0 %.

Los valores de asimetría mayores que cero para todas las estaciones, indican que poseen asimetría positiva, es decir que la distribución de los datos de precipitaciones presenta la cola de distribución hacia la derecha, como se observa en los histogramas ya vistos. Esto confirma de nuevo que las precipitaciones de menor magnitud se presentan con mayor frecuencia y se concentran por debajo de la mediana y la media.

Finalmente, el coeficiente de Curtosis (Ck) indicó que ninguna estación presenta una distribución mesocrática (CK = 0), es decir que ninguna es similar a la distribución normal caracterizada por la campana de Gauss. Solo las estaciones La Dc Hda Maporita, Las Mesas y Mesa de Pole presentan una distribución platicúrtica, dado que tiene un valor negativo de Ck diferenciadas en color rojo, lo cual indica que su distribución es menos apunta que la distribución normal y por lo tanto presenta una menor concentración de los datos entorno a la media. Las demás estaciones poseen una distribución leptocurtica (CK>0), es decir que sus datos están más concentrados hacia la media.

Tabla 16. Descriptivos Numéricos de precipitación (1990 - 2011).

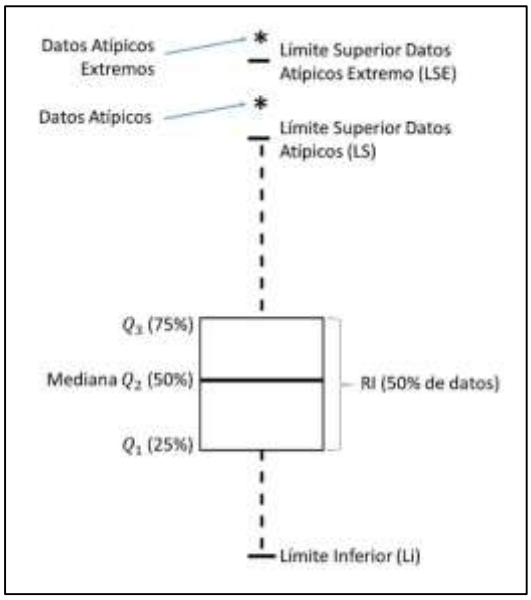
Estaciones	Mínimo (mm)	Máximo (mm)	Media (mm)	Mediana (mm)	Desviación estándar (mm)	Coeficiente de Variación (%)	Asimetría (adim)	Curtosis (adim)
Anchique	0,0	544,6	130,0	106,5	108,0	83,1	1,12	1,34
Boqueron	0,0	581,1	159,8	139,3	120,6	75,5	0,80	0,30
Dc Hda Altamira	0,0	606,0	114,8	84,0	106,7	93,0	1,38	2,17
Guamo	0,0	434,3	121,7	105,6	86,2	70,8	0,83	0,54
Hda Colache	0,0	533,6	129,6	112,6	98,9	76,3	1,02	1,14
Hda Pinalito	0,0	760,4	202,6	175,5	149,7	73,9	0,89	0,61
Jabalcon	0,0	545,0	124,5	106,6	93,0	74,7	1,14	1,73
La Dc Hda Maporita	0,0	476,1	161,6	142,8	111,1	68,8	0,72	-0,01
La Hda Lorena	0,0	914,0	142,4	119,5	121,8	85,5	1,82	6,29
Las Cruces	0,0	628,0	149,2	124,0	115,7	77,5	1,25	1,84
Las Mesas	0,0	559,8	184,0	172,5	125,8	68,4	0,62	-0,14
Mesa De Pole	3,1	646,0	201,1	187,1	133,3	66,3	0,59	-0,12
Molino Murra	0,0	453,0	133,3	119,0	89,7	67,2	0,76	0,47
Olaya Herrera	0,0	717,0	192,5	172,5	146,8	76,3	0,79	0,43
Ortega	0,0	666,8	151,5	124,5	111,6	73,7	1,08	1,55
Piedras de Cobre	0,0	473,0	122,6	108,4	92,9	75,8	0,94	0,95
Potosi	0,0	582,0	106,2	80,5	93,9	88,4	1,30	2,36
Pst de Monta	0,0	548,9	150,4	135,1	108,8	72,3	0,71	0,28
Pto Lleras	0,7	691,0	213,4	187,5	129,0	60,5	0,94	0,83
Purificacion	0,0	672,0	163,7	148,0	117,3	71,7	0,94	1,13
San Antonio Quinta	11,6	480,2	170,0	161,5	88,5	52,0	0,67	0,32
San Juanito	0,0	624,0	104,9	78,3	99,5	94,8	1,47	3,02
Suarez	0,0	573,0	143,3	124,0	102,9	71,9	0,97	0,93
Tinajas	0,0	557,0	120,9	96,5	105,4	87,1	1,20	1,57
Valle de San Juan	0,0	521,0	129,4	111,0	92,5	71,4	1,05	1,28

Fuente: Elaboración Propia a partir de la información proporcionada por el IDEAM. Proagua, 2018.

Detección de datos atípicos

Se analizaron los datos atípicos de las series históricas de cada estación, con el fin de determinar si dichos valores fueron errores por sistematización o si correspondían a datos reales de la variable. En primer lugar, se identificaron los valores que estuvieran por encima del límite del bigote superior del diagrama de cajas, el cual se determina mediante el uso de la **Ecuación 4**. Posteriormente se analizan los datos que están por encima del límite superior de datos atípicos extremos, el cual se determina con la **Ecuación 5** (Uribe, 2010). Este análisis solo se hace para los limites superiores y no inferiores, pues solo se aplica para la variable precipitación en la cual se pueden presentar valores de magnitudes muy elevadas, alejadas del comportamiento general de la variable, mientras que los valores mínimos reales son la magnitud de cero, el cual corresponde a al evento de no lluvia, ver Figura 17. Los valores negativos son física y naturalmente imposibles para la variable precipitación.

Figura 17. Diagrama de Caja



Fuente: Elaboración Propia. Proagua, 2018.

$$LS = Q_3 + 1.5 * RI$$ **Ecuación 4**

Dónde;
LS : Límite superior de datos atípicos
Q_3 : Cuartil 3 o Percentil 75
RI : Rango intercuartil

$$LSE = Q_3 + 3 * RI$$ **Ecuación 5**

Dónde;
LSE: Límite superior de datos atípicos Extremos
Q_3 : Cuartil 3 o Percentil 75
RI : Rango intercuartil

$$RI = Q_3 - Q_1$$ **Ecuación 6**

Dónde;

RI : Rango intercuartil
Q_1 : Cuartil 1 o Percentil 25
Q_3 : Cuartil 3 o Percentil 75

Tanto la Ecuación 4 como la Ecuación 5 usan como parámetro base de cálculo el rango intercuatil (RI), el cual es un estadístico de dispersión, que toma como tendencia central la mediana y representa el 50% de los datos centrales de la muestra, ver **Ecuación 6** (Uribe, 2010). Los datos que exceden los límites se compararon uno a uno con los registros de las estaciones cercanas y/o con aquellas que presentaran altura similar, analizando el comportamiento general de la serie y del período en el que se presentaron, para determinar si son datos validos o si se deberían reemplazar. Este análisis debe hacerse prestando especial atención a los datos que exceden el límite superior de datos atípicos extremos (LSE) ya que estos son los más críticos estadísticamente.

La precipitación por naturaleza es muy variada, por esta razón los Datos Atípicos (DA) que se definen como las magnitudes que están por encima del Límite Superior de Datos Atípicos (LS) pero que no logran sobrepasar el Límite Superior de Datos atípicos Extremos (LSE), se aceptan como datos propios de la serie; solo los valores de precipitación que están por encima del LSE son considerados Datos Atípicos Extremos (DAE), los cuales fueron analizados con detenimiento, debido a que estadísticamente hablando se salen del comportamiento general de los datos.

Es importante examinar dichos datos para definir si en realidad ocurrieron o fueron datos mal tomados o digitados. La aceptación o no de un DAE como real o verdadero se puede resolver revisando las series de precipitaciones mensual o diaria de las estaciones vecinas, observando si en dichas estaciones se presentaron registros de lluvias de alta magnitud.

En la Tabla 17 se presentan las 5 precipitaciones máximas históricas de cada una de las estaciones, además se presentan el LS y LSE, así como el número de DA que representa todos los datos atípicos incluidos los extremos y el número de DAE. Los valores en azul representan los DA y los valores en rojo representa los DAE.

Tal como se observó en el diagrama de caja, todas las estaciones presentan DA, San Juanito es la que reporta más número de DA, 10 en total de los cuales uno es DAE. Por su parta las estaciones que presentan DAE solo reportan un valor, dichas estaciones con sus respectivas magnitudes son: Dc Hda Altamira (606,0 mm), La Hda Lorena (914,0 mm), Ortega (666,8 mm), Potosi (582,0 mm) y San Juanito (624,0 mm) mm.

Tabla 17. Datos Atípicos Extremos de las Series de Precipitación Mensual (1990 - 2011).

N°	Estación	LS	LSE	N° DA	N° DAE	Datos				
1	**Anchique**	**425,8**	**658,2**	7	0	459,2	462,2	465,1	530,0	544,6
2	**Boqueron**	**495,6**	**755,0**	3	0	460,0	483,1	508,8	574,8	581,1
3	**Dc Hda Altamira**	**379,2**	**589,1**	8	1	416,0	471,0	471,0	477,0	606,0
4	**Guamo**	**350,8**	**527,8**	3	0	312,3	317,6	415,5	424,4	434,3
5	**Hda Colache**	**396,1**	**602,0**	5	0	412,0	419,9	429,9	468,4	533,6
6	**Hda Pinalito**	**601,9**	**913,5**	4	0	595,0	649,0	665,0	691,0	760,4
7	**Jabalcon**	**374,3**	**567,0**	6	0	394,7	400,0	422,2	437,2	545,0
8	**La Dc Hda Maporita**	**452,4**	**681,6**	5	0	453,0	460,8	462,6	468,2	476,1

Tabla17. Datos Atípicos Extremos de las Series de Precipitación Mensual (1990 - 2011). (Continuación)

N°	Estación	LS	LSE	N° DA	N° DAE	Datos				
9	**La Hda Lorena**	**411,1**	**623,8**	8	1	505,0	507,0	528,0	550,0	914,0
10	**Las Cruces**	**461,3**	**703,3**	6	0	474,0	522,0	545,0	573,0	628,0
11	**Las Mesas**	**550,6**	**833,8**	1	0	512,3	513,9	532,8	540,2	559,8
12	**Mesa De Pole**	**583,0**	**882,3**	2	0	511,0	527,1	550,8	597,2	646,0
13	**Molino Murra**	**375,9**	**563,8**	3	0	359,0	375,0	378,0	426,0	453,0
14	**Olaya Herrera**	**600,6**	**919,0**	4	0	568,0	620,0	659,0	669,0	717,0
15	**Ortega**	**428,0**	**643,5**	4	1	418,9	433,3	444,1	544,9	666,8
16	**Piedras de Cobre**	**363,1**	**552,5**	5	0	364,2	400,0	417,7	461,3	473,0
17	**Potosi**	**350,5**	**541,8**	5	1	357,0	380,0	386,0	415,0	582,0
18	**Pst de Monta**	**471,8**	**721,8**	2	0	437,3	438,4	453,0	501,6	548,9
19	**Pto Lleras**	**534,0**	**783,0**	7	0	586,0	592,0	612,0	618,0	691,0
20	**Purificación**	**468,4**	**705,8**	4	0	451,0	479,0	524,0	553,0	672,0
21	**San Antonio Quinta**	**404,2**	**585,0**	3	0	368,6	386,0	414,0	473,2	480,2
22	**San Juanito**	**343,1**	**535,3**	10	1	372,0	397,0	401,8	440,0	624,0
23	**Suarez**	**415,0**	**625,0**	5	0	424,0	424,0	431,0	446,0	573,0
24	**Tinajas**	**398,1**	**614,5**	5	0	406,0	443,0	508,0	512,0	557,0
25	Valle de San Juan	**350,3**	**523,5**	7	0	385,0	403,0	408,0	424,0	521,0

Fuente: Elaboración Propia a partir de la información proporcionada por el IDEAM. Proagua, 2018.

Revisando los valores de precipitación que ocurrieron en la fecha de las magnitudes que se consideran DAE, se pueden identificar que si hay congruencia en el comportamiento. En todos los casos las precipitaciones registradas de las demás estaciones respecto a la estación del dato atípico, muestran precipitaciones sustancialmente altas; por lo tanto, no se descarta ningún valor atípico extremo.

8.3.5 Prueba de Normalidad

Se realizó la prueba de normalidad de Shapiro Wilk para confirmar o no la posible distribución normal de los datos. Se seleccionó esta prueba porque es la recomendada para muestras menores a 50 datos y presenta una confiabilidad del 95%. Se puso a prueba la hipótesis nula, evaluando si los datos proceden de una población con distribución normal, frente a una hipótesis alternativa de que los datos no presentan una distribución normal. Si el valor de la significancia estadística mayor o igual al 5% ($p >= 0,05$) la hipótesis nula se acepta, por lo tanto, se cumple con el supuesto de normalidad (Shapiro, 1965).

En la Tabla 18 se presentan los resultados de la prueba de normalidad en la cual se puede ver que los valores de la significancia estadística (SE) son todos menores a 0.05, por lo tanto, se rechaza la hipótesis nula y se concluye que los datos no presentan una distribución normal. De esta manera se hace necesario aplicar pruebas no paramétricas para el Análisis Confirmatorio.

Tabla 18. Prueba de Normalidad Shapiro Wilk para Series de Precipitación Mensual (1990 - 2011).

N°	Estación	Estadístico	Significancia
1	Anchique	0,906	0,000
2	Boquerón	0,939	0,000
3	Dc Hda Altamira	0,874	0,000
4	Guamo	0,944	0,000
5	Hda Colache	0,928	0,000
6	Hda Pinalito	0,936	0,000
7	Jabalcón	0,920	0,000
8	La Dc Hda Maporita	0,949	0,000
9	La Hda Lorena	0,866	0,000
10	Las Cruces	0,902	0,000
11	Las Mesas	0,956	0,000
12	Mesa De Pole	0,959	0,000
13	Molino Murra	0,956	0,000
14	Olaya Herrera	0,942	0,000
15	Ortega	0,926	0,000
16	Piedras de Cobre	0,936	0,000
17	Potosí	0,891	0,000
18	Pst de Monta	0,948	0,000
19	Pto Lleras	0,943	0,000
20	Purificación	0,940	0,000
21	San Antonio Quinta	0,968	0,000
22	San Juanito	0,870	0,000
23	Suarez	0,936	0,000
24	Tinajas	0,896	0,000
25	Valle de San Juan	0,932	0,000

Fuente: Elaboración Propia a partir de la información proporcionada por el IDEAM. Proagua, 2018.

8.3.6 Análisis confirmatorio

Según el comportamiento de la serie histórica de datos, se pueden aplicar las pruebas paramétricas y no paramétricas. Las pruebas paramétricas están basadas en muestreos de una población con parámetros específicos, como la media o la desviación estándar. Una de las pruebas más comunes para tendencias es el método de regresión lineal, el cual asume que los datos se encuentran normalmente distribuidos. Las pruebas no paramétricas no requieren una distribución particular, de manera que algunas veces son referidas como pruebas de libre distribución (Avilés, 2005).

La prueba de U Mann Whitney es una de las pruebas no paramétricas más utilizadas, la hipótesis nula de contraste es que las dos muestras, de tamaño n_1 y n_2, respectivamente, proceden de poblaciones continuas idénticas, frente a la hipótesis alterna que pueden ser unilateral o bilateral y únicamente supone que la tendencia central de una población difiere de la otra, pero no una diferencia de forma o de dispersión (Maidment, 1993 y Sheskin, 1997). Si el valor de la significancia es menor del 5% se rechaza la hipótesis nula ($p <= 0,05$). Para ambos casos, se trabaja con una confiabilidad del 95%.

Se aplicó la prueba anterior, la cual permite comparar en parejas cada una de las de las series de las estaciones y definir si provienen o no de poblaciones continuas idénticas, lo cual hace referencia a la hipótesis nula. En la Tabla 19 se presentan los resultados de la prueba confirmatoria de las estaciones se para las cuales la significancia estadística fue superior al 50%. Se realizaron 300 comparaciones de las cuales sólo 90 (30 %) cumplieron con la hipótesis nula, el resto (70 %), que equivalen a 210 estaciones, descartaron la hipótesis nula, y, por lo tanto, se define que las tendencias centrales de estas series difieren una de la otra.

Tabla 19. Análisis Confirmatorio prueba no paramétrica U Mann Whitney.

Estaciones		**Significancia**
Ortega	Pinalito Hda	0,99936
Purificación	Maporita La Dc Hda	0,97332
Guamo	Piedras de Cobre	0,95900
Guamo	Anchique	0,93025
Anchique	Jabalcón	0,88457
Guamo	Jabalcón	0,86691
Molino Murra	Lorena La Hda1	0,85600
Jabalcón	Piedras de Cobre	0,82574
Olaya Herrera	Mesas Las	0,82434
Cruces Las	Suarez	0,78280
Anchique	Piedras de Cobre	0,77237
Mesa De Pole	Pinalito Hda	0,74555
Mesa De Pole	Ortega	0,74394
Boquerón	Maporita La Dc Hda	0,68106
Boquerón	Purificación	0,64297
Suarez	Molino Murra	0,61812
Colache Hda	Jabalcon	0,60895
Potosí	San Juanito	0,60539
Las Cruces	Pst de Monta	0,59815
Boqueron	Pst de Monta	0,58855
Altamira Dc Hda	Potosí	0,57446
Colache Hda	Anchique	0,56595
San Antonio Quinta	Mesas Las	0,56287
Suarez	Lorena La Hda1	0,55426
Colache Hda	Guamo	0,52031

Fuente: Elaboración Propia a partir de la información proporcionada por el IDEAM, Proagua 2018.

8.3.7 Precipitación promedio mensual multianual.

A partir de las precipitaciones mensuales interanuales de las 25 estaciones, se procedió a espacializar la variable, haciendo uso de la metodología de las isoyetas, construidas cada 30 mm según fuese la necesidad, Ver Figura 18. La variedad de colores de cada mes, que corresponde al número de isoyetas, es un indicativo de la variación de la precipitación en la zona por mes.

Según los resultados obtenidos para la cuenca, se puede observar que las mayores precipitaciones se presentan en los meses de abril y noviembre, mientras que los de más baja magnitud corresponden a los meses de enero, junio, julio y agosto.

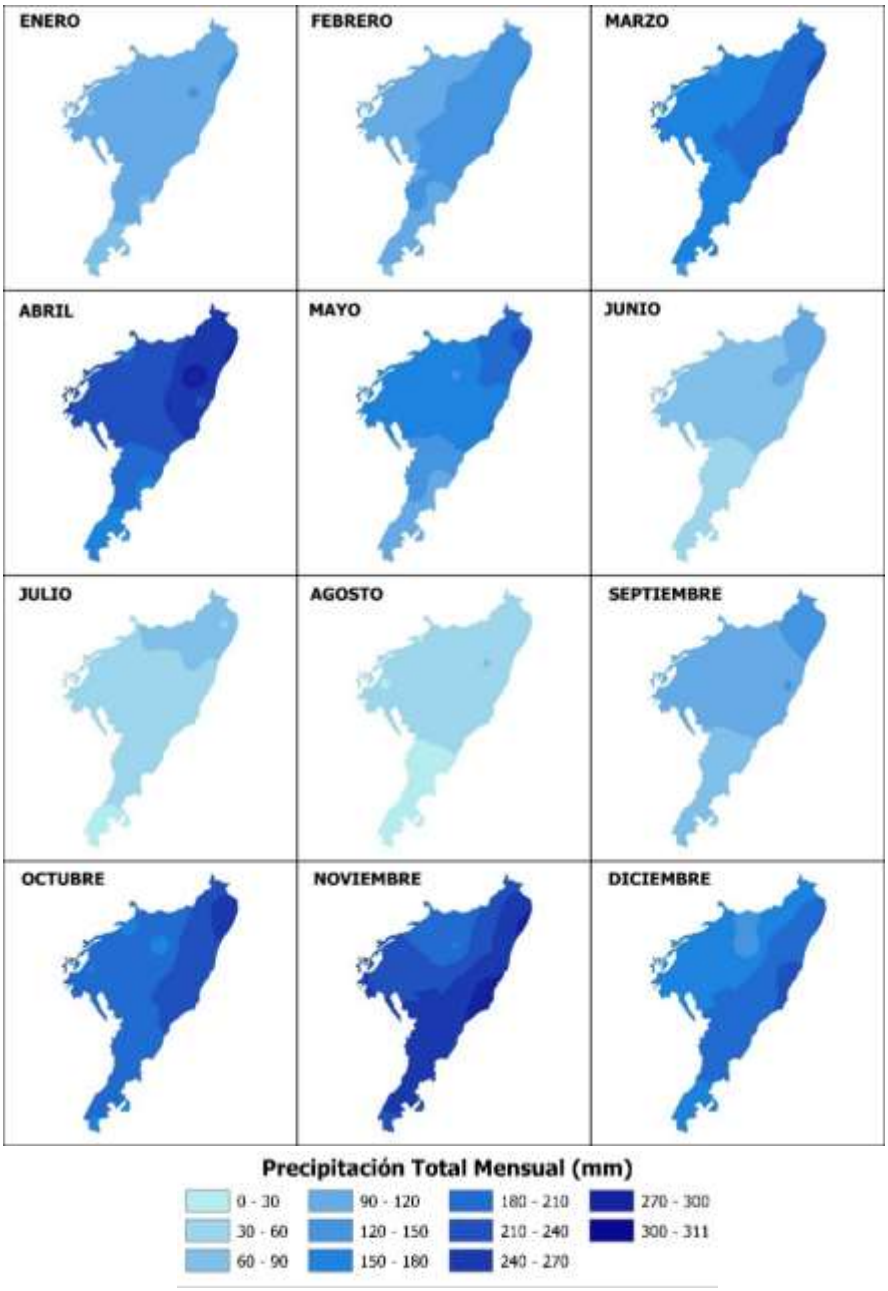
Además, al observar el comportamiento de manera generalizada, se puede identificar que las precipitaciones de mayor magnitud se presentan hacia el norte del acuífero, mientras que el sur del mismo está caracterizado por ser más seco, es decir que las lluvias son las más bajas de la zona.

Al observa la distribución de las precipitaciones medias se puede identificar que los meses de febrero a abril y de octubre a diciembre, se presentan las mayores precipitaciones en la zona, focalizadas hacia la zona noreste y centro- este del acuífero, mientras que las menores precipitaciones para esos mismos meses se registran hacia la zona centro - oeste de la misma con una tendencia hacia el sur.

A partir del mes de mayo hasta septiembre, se presentan mayores precipitaciones en la zona norte del acuífero, que no son lo suficientemente representativas, ya que casi están en magnitud al mino nivel que el resto del acuífero.

Noviembre es el único mes donde se puede observar que las precipitaciones de menor magnitud se concentran más hacia el centro norte que hacia el sur de la zona, a diferencia de los demás meses donde las menores precipitaciones son características de la zona sur del acuífero.

Figura 18. Distribución de la precipitación media mensual multianual (mm) (1990 – 2011).



Fuente: Elaboración Propia a partir de la información proporcionada por el IDEAM, Proagua 2018.

8.3.8 Precipitación Anual

En la Figura 20, se presenta la distribución espacial de la precipitación anual en la zona de estudio, con isoyetas construidas cada 100 mm. Hacia el lado noreste del acuífero se presenta el único foco de precipitaciones máximas con magnitudes entre 2100 y 2200 mm. Por su parte, el centro - oeste del acuífero está caracterizado por un foco de precipitaciones bajas, con magnitudes entre 1400 y 1600 mm anuales.

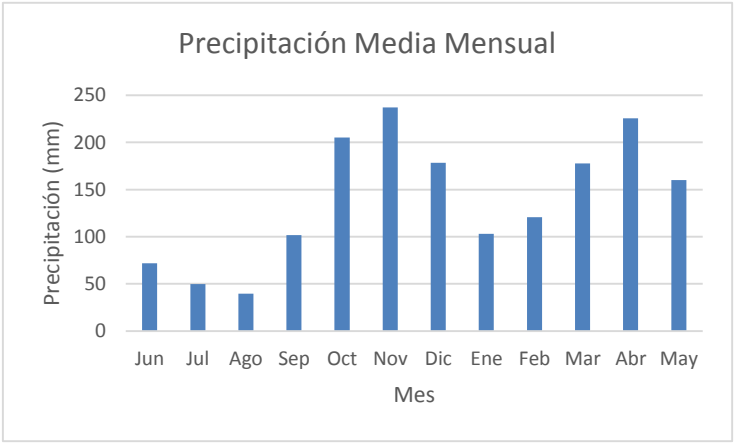
Este foco de precipitaciones bajas tiende a distribuirse hacia el sur de la zona de estudio llegando a magnitudes 1200 a 1300 mm anuales, por lo cual podría inferirse que hay una influencia que estaría ejerciendo el desierto de la Tatacoa en esta zona. La precipitación media anual es de 1674,2 mm calculada a partir de las isoyetas.

Tabla 20. Datos Precipitación Media Mensual (mm) (1990-2011).

Mes	Precipitación (mm)
Jun	72,0
Jul	49,8
Ago.	39,6
Sep.	101,8
Oct	205,1
Nov	237,0
Dic	178,4
Ene	103,1
Feb	120,9
Mar	177,6
Abr	225,6
May	160,2

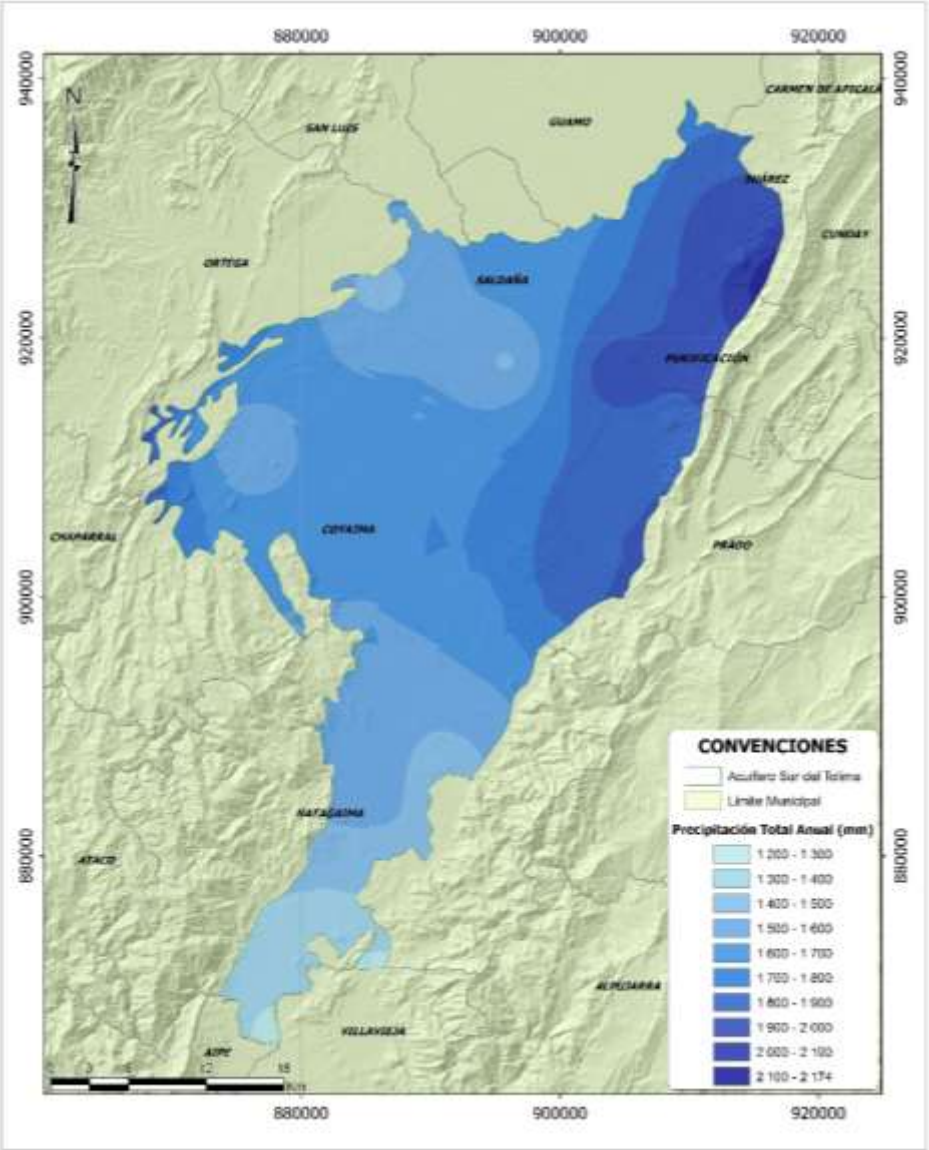
Fuente: Elaboración Propia a partir de la información proporcionada por el IDEAM. Proagua, 2018.

Figura 19. Comportamiento de la Precipitación Media Mensual (mm) (1990-2011).



Fuente: Elaboración Propia a partir de la información proporcionada por el IDEAM. Proagua, 2018.

Figura 20. Distribución Espacial de la Precipitación Anual (mm) (1990 – 2011).



Fuente: Elaboración Propia a partir de la información proporcionada por el IDEAM. Proagua, 2018.

8.4 Temperatura Media

La temperatura es una de las variables climatológicas más utilizadas para describir el estado de la atmósfera. Esta Variable es una magnitud que se presenta de manera continua y varia en el trascurso del día y de la noche. La Temperatura media se caracteriza en la franja tropical por mostrar una escasa variabilidad durante el año, con amplitudes de 1 a 3 °C entre el mes más cálido y el más frío (IDEAM, 2009).

8.4.1 Análisis descriptivo numérico de Temperatura Media mensual

Se calcularon estadísticos básicos para la temperatura media mensual como: el valor máximo, mínimo, la mediana, la desviación estándar, el Coeficiente de Variación (CV) y el Coeficientes de Curtosis (CK) a partir dede las series de las estaciones Anchique, Guamo, Jabalcon y Pst de Monta, ver Tabla 21. Es importante anotar que para el análisis y espacializacion de esta variable fue necesario utilizar otras estaciones climatológicas que, aunque no estuvieran tan cerca a la zona de estudio, y tuvieran mayores elevaciones permitieron hacer una mejor correlación entre el gradiente altitudinal y la magnitud de la temperatura.

El mayor rango de registros de temperatura media mensual la presentan la estación Anchique, que reporta para el periodo común de registros una magnitud máxima de 31,5 °C y una mínima de 25,7 °C, dando como resultado un rango de 5,8 °C. Mientras que, la estación que presenta un rango de registro más cortó es la estación San Antonio Quinta, el cual es de 3,5 °C, determinado a partir de la magnitud máxima histórica mensual de 23,5 °C y la mínima de 20,0 °C.

Al analizar las magnitudes de temperatura medias y medianas se puede observar que guardan una relación similar para todas las estaciones, los valores medios están entre 21,6 y 28,1 °C, mientras que los valores medianos de temperatura están entre 21,6 °C y 27,9 °C. En la mayoría los casos la temperatura media es un poco mayor a la mediana y esto infiere que las series presentan una distribución levemente asimétrica con cola a la derecha y concentración hacia el lado izquierdo. Solo San Antonio Quinta presenta que la media y la mediana son iguales, por lo que se infiere una distribución simétrica alrededor de los estadísticos centrales.

Tabla 21. Descriptivos Numéricos Temperatura Media (1990 - 2011).

Estaciones	Mínimo (°C)	Máximo (°C)	Media (°C)	Mediana (°C)	Desviación Estándar (mm)	Coeficiente de Variación (%)	Asimetría (adim)	Curtosis (adim)
Anchique	25,7	31,5	28,1	27,8	1,41748	5,1	0,513	-0,751
Guamo	26,1	31,1	27,9	27,8	1,04872	3,8	0,749	-0,119
Jabalcon	26,3	31,1	27,9	27,7	0,89464	3,2	0,997	0,902
Mesa de Pole	24,2	28,7	26,2	26,1	0,89513	3,4	0,343	-0,444
Pst de Monta	26,5	30,1	27,9	27,9	0,75334	2,7	0,621	-0,145
San Antonio Quinta	20,0	23,5	21,6	21,6	0,67043	3,1	0,070	-0,239

Fuente: Elaboración Propia a partir de la información proporcionada por el IDEAM. Proagua, 2018.

La estación que presenta mayor dispersión es Anchique con un CV de 5,1 %; mientras que, Pst de Monta es la que menor dispersión presenta con un CV de 2,7 %. Los valores de asimetría mayores que cero para 5 de las 6 estaciones, indican que poseen asimetría positiva, es decir que la distribución de los datos de temperatura presenta la cola de distribución hacia la derecha. Esto quiere decir que los valores de temperatura de menor magnitud se presentan con mayor frecuencia y se concentran por debajo de la mediana y la media. Para el caso de San Antonio Quinta se presenta un coeficiente de 0,070 el cual es muy cerca a cero, lo que reconfirma que tiene una distribución simétrica como se había mencionado anteriormente.

Las estaciones Anchique, Guamo, Mesa de Pole, la Pts de Monta y San Antonio Quinta presentan una distribución platicúrtica, dado que tiene un valor negativo de Ck, por lo tanto, presenta una menor concentración de los datos entorno a la media. La estación Jabalcon posee una distribución leptocurtica (CK>0), es decir que sus datos están más concentrados hacia la media.

8.4.2 Comportamiento de la Temperatura media mensual por estación

El comportamiento de la temperatura media a nivel mensual se muestra en la Tabla 22 y en la Figura 21. Las estaciones Mesa de Pole y San Antonio Quinta por estar ubicadas en elevaciones mayores que las demás presentan menores temperaturas, lo cual era de esperarse. Las temperaturas medias más altas ocurren en el mes de agosto, mientras que las más bajas se presentan en noviembre. De enero a mayo la temperatura no varía mucho por lo que se observa pocas fluctuaciones en estos meses.

La Temperatura media mensual de las estaciones Guamo y Jabalcón, describen el comportamiento general de la variable en el norte y centro de la Zonal de estudio. De esta manera se observa que los meses de enero a junio la temperatura varía muy poco y oscila en magnitudes entre 27,4 y 28,3 °C para la estación Guamo y entre 27,5 y 28,1 °C para Jabalcón. La temperatura media más alta se registra en el mes de agosto con una magnitud de 29,3 °C para Guamo y 29,1 °C para Jabalcón, mientras que la más baja se presenta en el mes de noviembre con valores de 27,2 y 27,3 °C para Guamo y Jabalcón respectivamente.

Para la estación Pst de Monta, ubicada en la zona centro – este del acuífero, se presenta que el mes más cálido ocurre agosto con magnitud 28,9 °C, mientras que el más frio es del orden de 26,7 °C reportado en noviembre y abril. De enero a junio la temperatura varia muy poco, entre 27,4 y 28,0 °C.

La estación Anchique permite caracterizar la temperatura media en el sur del acuífero. De este modo el mes más cálido se presenta agosto con magnitud 30,0 °C, mientras que el más frio es del orden de 26,7 °C reportado en noviembre. De enero a junio la temperatura varia muy poco, entre 27,2 y 28,1 °C.

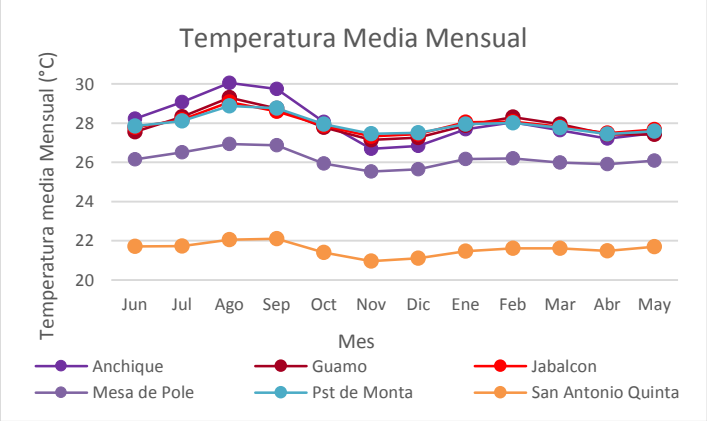
Las estaciones de Mesa de Pole y San Antonio Quinta no son representativas del comportamiento del acuífero respecto a la temperatura por encontrarse alejadas y en mayores elevaciones como se ha mencionado anteriormente.

Tabla 22. Datos de Temperatura media mensual (°C) (1990-2011).

Estación	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Anchique	27,7	28,1	27,6	27,2	27,5	28,1	29,0	30,0	29,7	28,1	26,7	26,8
Guamo	27,9	28,3	28,0	27,4	27,4	27,6	28,3	29,3	28,8	27,8	27,2	27,2
Jabalcón	28,0	28,1	27,8	27,5	27,7	27,8	28,2	29,1	28,6	27,9	27,3	27,4
Mesa de Pole	26,2	26,2	26,0	25,9	26,1	26,1	26,5	26,9	26,9	25,9	25,5	25,6
Pst de Monta	27,9	28,0	27,8	27,4	27,6	27,8	28,1	28,9	28,7	27,9	27,4	27,5
San Antonio Quinta	21,5	21,6	21,6	21,5	21,7	21,7	21,7	22,0	22,1	21,4	21,0	21,1

Fuente: Elaboración Propia a partir de la información proporcionada por el IDEAM. Proagua, 2018.

Figura 21. Comportamiento de la Temperatura media mensual interanual por estación (°C) (1990-2011).



Fuente: Elaboración Propia a partir de la información proporcionada por el IDEAM. Proagua, 2018.

8.4.3 Comportamiento de la Temperatura media mensual

Para espacializar la temperatura, se tuvo en cuenta la premisa de que esta variable se relaciona inversamente con la altura. Se aplicaró la metodología para la interpolación de la humedad relativa mediante el uso del gradiente altitudinal desarrollada en el documento "Near surface air humidity in a megadiverse Andean mountain ecosystem of southern Ecuador and its regionalization" (Fries et. Al., 2012), la cual tiene la misma aplicabilidad para la variable temperatura. De esta manera, se determinó inicialmente el grado de correlación y la pendiente de la línea de tendencia entre estas dos variables, a partir de los datos registrados en las estaciones, y la altura a la cual estas se localizan según el DEM de referencia. Este DEM de 30 m de resolución, fue descargado de la página del Servicio geológico de los Estados Unidos[2] (USGS). Con el dato de la pendiente (gradiente) se determinó la temperatura que registraría las estaciones si estuvieran a una misma altura

[2] https://www.usgs.gov/

(Zdet), llamada temperatura determinada (Tdet). La ecuación utilizada para ello es la siguiente:

$$Tdet = Tmes + (Z\gamma * (Zdet - Zestacion))$$

Donde;
Tdet: temperatura determinada (°C)
Tmes: Temperatura media mensual o anual de la estacion (°C)
γ : Gradiente altitudinal o pendiente (°C/m.s.n.m.)
Zdet: altura determinada (m.s.n.m.)
Zestacion: Altura de la estación. (m.s.n.m.)

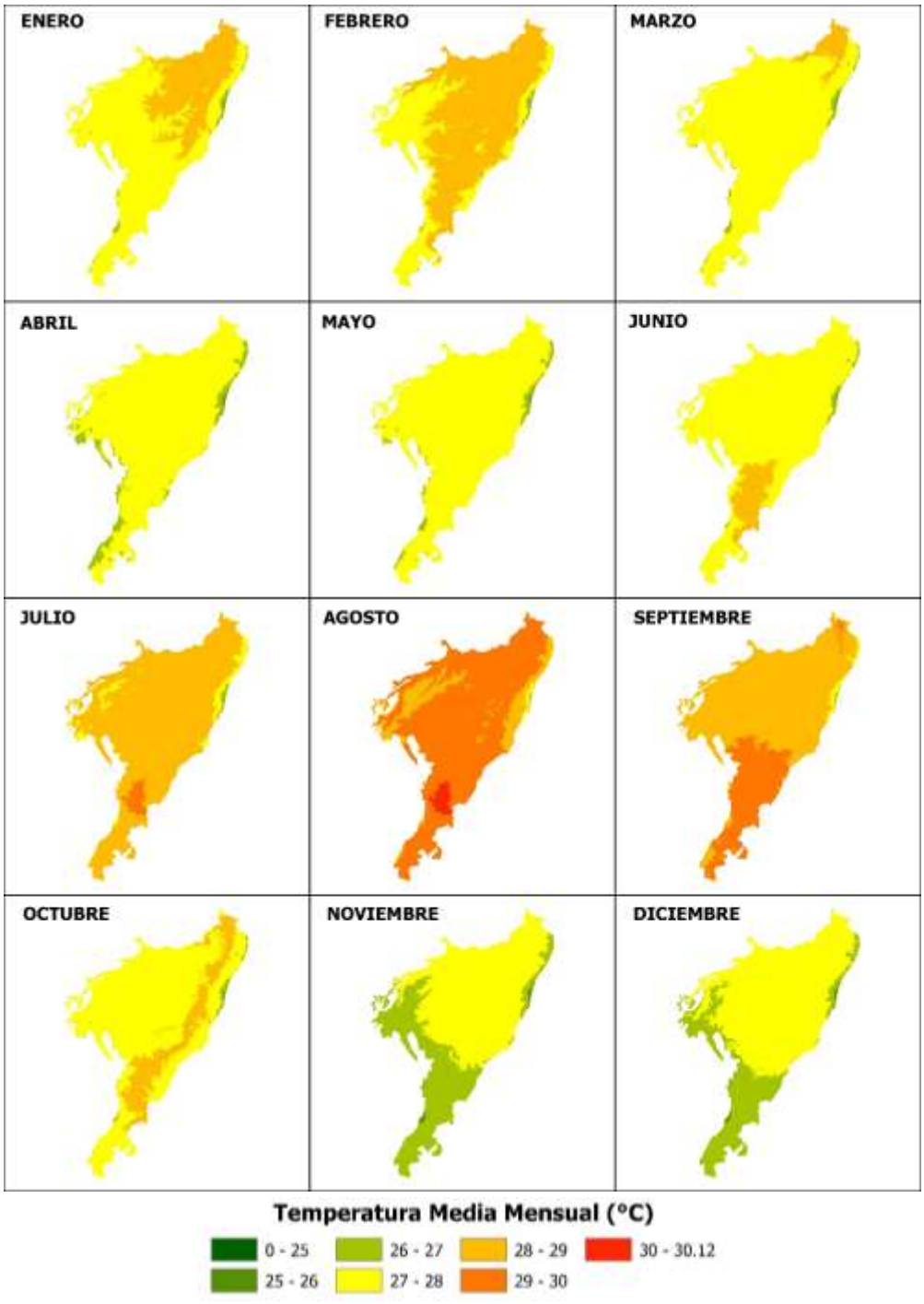
Luego se realizó la interpolación de la Tdet en Arcgis con el método IDW y posteriormente teniendo en cuenta los valores de elevación del DEM se determinó la Temperatura media en cada punto de la zona de estudio aplicando la siguiente ecuación:

$$T(x,y) = Tdet + (\gamma * (ZDEM(x,y) - Zdet))$$

Donde;
$T(x,y)$: Temperatura media mensual o anual en cada punto (x,y).
γ : Gradiente altitudinal o pendiente (°C/m.s.n.m.)
$ZDEM(x,y)$: Valor de Elevación de la celda del DEM en el punto (x,y).
$Zdet$: Altura determinada. (m.s.n.m.)

En la Figura 22 se presenta la especialización de la temperatura media en el acuífero de estudio. En general se observa que hacia el lado noreste de la zona se presenta un peque de temperaturas bajas el cual se presenta para todos los meses del año. Los meses de noviembre y diciembre son los meses más fríos del año, los cuales se caracterizan por presentar menores temperaturas hacia el sur del acuito, situación que no ocurre en los demás meses. Los meses de marzo, abril, mayo y junio presentan en casi la mayoría de la zona temperaturas entre 27 y 28°C. El mes más cálido es agosto, el cual se caracteriza por presentar un foco de temperaturas altas en el sur de la zona de estudio con magnitudes mayores a 30°C.

Figura 22. Distribución de la Temperatura media mensual (°C) (1990-2011).



Fuente: Elaboración Propia a partir de la información proporcionada por el IDEAM. Proagua, 2018.

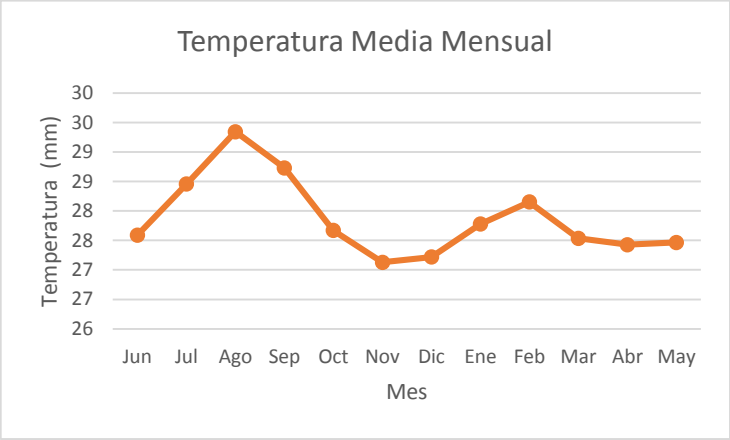
La Temperatura media mensual para el Acuífero Sur del Tolima se calculó a partir de las isotermas y se presenta teniendo en cuenta el año hidrológico, ya que permita caracterizar de mejor manera el comportamiento de las variables climatológicas en una zona de estudio. Se puede observar que la Temperatura media mensual tiene un comportamiento bimodal con un aumento de temperatura mucho más leve en la segunda temporada del año hidrológico. Los meses de mayor temperatura para la primera temporada son Julio, agosto y septiembre con magnitudes de 28,5, 29,3 y 28,7 °C respectivamente, mientras que el mes de mayor temperatura en la segunda temporada es febrero (28,2 °C). Por su parte la menor Temperatura ocurre en noviembre con magnitud de 27,1 °C, los meses de menor temperatura en la segunda temporada son marzo, abril y mayo con magnitudes de 27,5, 27,4 y 27,5 respectivamente (Tabla 23 y Figura 23).

Tabla 23. Datos Temperatura Media Mensual (°C) (1990-2011).

Mes	Temperatura (°C)
Jun	27,6
Jul	28,5
Ago.	29,3
Sep.	28,7
Oct	27,7
Nov	27,1
Dic	27,2
Ene	27,8
Feb	28,2
Mar	27,5
Abr	27,4
May	27,5

Fuente: Elaboración Propia a partir de la información proporcionada por el IDEAM. Proagua, 2018.

Figura 23. Comportamiento de la Temperatura Media Mensual (°C) (1990-2011).

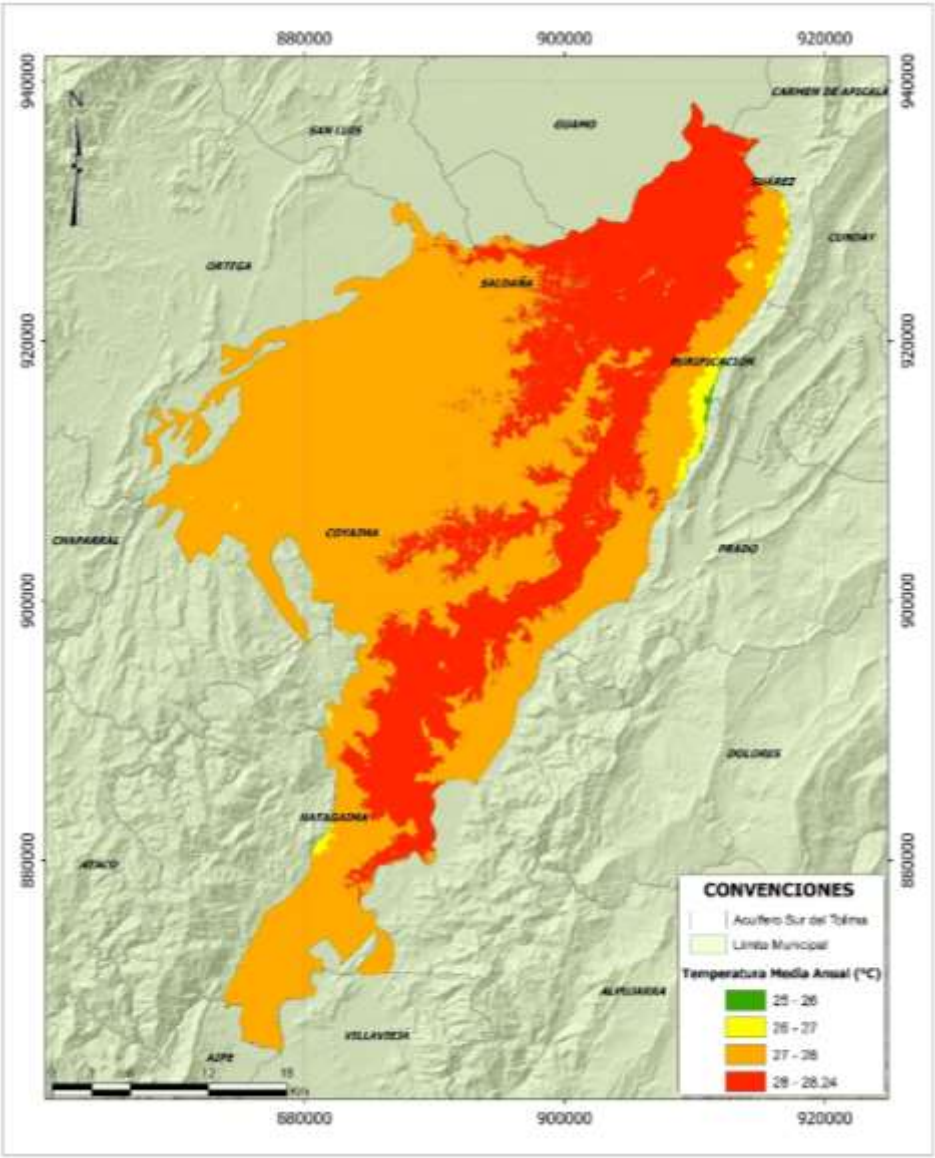


Fuente: Elaboración Propia a partir de la información proporcionada por el IDEAM. Proagua, 2018.

8.4.4 Temperatura media Anual

La especialización de la temperatura media anual mostrada en la Figura 24, indica que las mayores magnitudes se presentan paralelas al rio Magdalena con un mayor pronunciamiento en la zona norte del Acuífero, estas temperaturas son de magnitudes mayores a 28 °C. Se sigue presentado un pequeño foco con temperaturas bajas en la zona noreste, con magnitudes que están entre 25 y 27 °C. La zona oeste del acuífero, así como la zona sur, presentan temperaturas entre 27 y 28°C, esta temperatura es la que cubre mayor parte de la zona. La temperatura media anual de todo el acuífero es de 27,8 °C determinada a partir de las isotermas.

Figura 24. Distribución de la Temperatura media anual (°C) (1990-2011).



Fuente: Elaboración Propia a partir de la información proporcionada por el IDEAM. Proagua, 2018.

8.5 Humedad Relativa

La humedad es la cantidad de vapor de agua que contiene el aire. Esa cantidad no es constante, sino que depende de diversos factores, entre ellos el hecho de que haya llovido recientemente, de que estemos cerca del mar, o de que haya plantas en la zona, etc. La forma más común de medirla se denominada humedad relativa expresada en porcentaje (%), la cual indica la cantidad máxima de vapor de agua que puede contener una masa de aire antes de transformarse en agua líquida, es decir antes de llegar al punto de saturación. Una humedad relativa del 100% es indicativa de que esa masa de aire ya no puede almacenar más vapor de

agua, y a partir de ese momento, cualquier cantidad extra de vapor se convertirá en agua líquida o en cristalitos de hielo, según las condiciones ambientales (FECYT 2004).

8.5.1 Análisis descriptivo numérico de Humedad Relativa

Para la Humedad relativa se calcularon estadísticos básicos como: el valor máximo, mínimo, la mediana, la desviación estándar, el Coeficiente de Variación (CV) y el Coeficientes de Curtosis (CK) para cada una de las series de evaporación total mensual de las estaciones Anchique, Guamo, Jabalcon y Pst de Monta , los cuales se muestran en la Tabla 24.

El mayor rango de registros de humedad relativa mensual la presentan la estación Pst de Monta, que reporta para el periodo común de registros una magnitud máxima de 87 % y una mínima de 53 %. Mientras que, la que presentan un rango de registro de humedad relativa más cortó es la estación Anchique, con una magnitud máxima mensual de 84 % y una mínima de 44 %. La humedad relativa presenta valores medios entre 69,7 y 75,1 % mientras que los valores medianos están entre 72,0 y 76,3%.

Tabla 24. Descriptivos Numéricos Humedad Relativa (1990 - 2011).

Estaciones	Mínimo (%)	Máximo (%)	Media (%)	Mediana (%)	Desviación Estándar (%)	Coeficiente de Variación (%)	Asimetría (adim)	Curtosis (adim)
Anchique	44	84	69,7	72,0	9,3	13,4	-0,6	-0,6
Guamo	52	85	74,1	76,0	6,9	9,2	-0,9	0,2
Jabalcon	51	85	73,9	75,0	6,4	8,6	-1,0	1,1
Pst de Monta	53	87	75,1	76,3	6,2	8,2	-0,8	0,4

Fuente: Elaboración Propia a partir de la información proporcionada por el IDEAM. Proagua, 2018.

La estación que presenta mayor dispersión es Anchique con un CV de 13,4 %; mientras que, Pst de Monta es la que menor dispersión presenta con un CV de 8,2 %. Todas las estaciones poseen asimetría negativa, por lo que la cola de la distribución se alarga para valores inferiores a la media. Las estaciones en su mayoría poseen una distribución leptocurtica, es decir que sus datos están más concentrados hacia la media, en cambio Anchique presentan una distribución platicúrtica, dado que tiene un valor negativo de Ck, lo que significa que sus datos no se distribuyen alrededor de la media.

8.5.2 Humedad Relativa (HR) media

La humedad relativa (HR) media en el Acuífero fue determinada a partir de los datos mensuales multianuales de las estaciones Anchique, Guamo, Jabalcón y Pst de Monta (Tabla 25 y Figura 25). Este parámetro presenta un comportamiento inverso a la Temperatura media y es muy similar para las tres estaciones. De esta manera, entre los meses de enero y marzo las Humedades Relativas no varían mucho, seguido de un ligero aumento hasta el mes de abril, mes al partir del cual empieza a descender la HR en magnitud hasta agosto, el cual es el

mes con menos HR del año. Desde septiembre en adelante la HR va aumentando alcanzando un pico en noviembre.

En el norte del Acuífero, bajo la influencia de la estación Guamo, se reportan humedades relativas que oscilan entre 74 y 75% para los meses de enero, febrero y marzo. Los dos picos de HR se presentan en abril (79%) y noviembre (80%), mientras que la menor HR es del orden de 63% la cual ocurre en agosto.

El centro del acuífero, descrito por la estación Jabalcón, reporta las mayores humedades relativas en los meses de abril, noviembre y diciembre con magnitudes de 78% para los tres meses, por su parte, el mes de agosto siendo el mes menos húmedo se reporta una magnitud de 64%. Entre enero y marzo la HR oscila entre 74 y 76%.

En cuanto al sur del Acuífero definido por el comportamiento de la HR de la estación Anchique, se observa que los meses más húmedos son abril con magnitud de 76%, noviembre y diciembres, ambas con magnitudes de 78%. El mes más seco fue agosto (55%), mientras que enero, febrero y marzo reportan humedades de 73, 71 y 74%.

En la zona centro - este, definida por la estación Pst de Monta, se observa que los meses más húmedos son abril con magnitud de 79%, noviembre y diciembres, ambas con magnitudes de 80 y 79 %. El mes más seco fue agosto (66%), mientras que enero, febrero y marzo reportan humedades de 77 y 76 %.

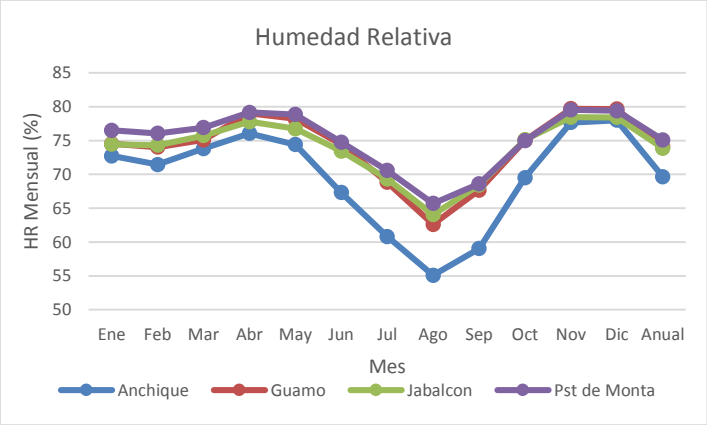
Tabla 25. Datos de Humedad Relativa media mensual (%) (1990-2011).

Estación	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
Anchique	73	71	74	76	74	67	61	55	59	70	78	78	70
Guamo	75	74	75	79	78	75	69	63	67	75	80	79	74
Jabalcón	74	74	76	78	77	73	69	64	68	75	78	78	74
Pst de Monta	77	76	77	79	79	75	71	66	69	75	80	79	75

Fuente: Elaboración Propia a partir de la información proporcionada por el IDEAM. Proagua, 2018.

La HR Anual por su parte, se presenta un poco mayor para la zona norte y centro, que para la zona sur. De esta manera, Guamo y Jabalcón (Norte y centro) reportan ambas una magnitud de 74% de HR anual, mientras que, en el sur Anchique muestra una magnitud de 70%.

Figura 25. Comportamiento de la Humedad Relativa media mensual (%) (1990-2011).



Fuente: Elaboración Propia a partir de la información proporcionada por el IDEAM. Proagua, 2018.

8.6 Brillo Solar

La energía transferida por el Sol a la Tierra es lo que se conoce como energía radiante o radiación, la cual viaja a través del espacio en forma de ondas llevando una determinada cantidad de energía. La atmósfera absorbe muy poca radiación solar por ser casi transparente, sin embargo, la superficie terrestre y otros cuerpos situados sobre ella sí la absorben. Un modo de tener una estimación de la radiación solar recibida es mediante la medición del número de horas de sol. Para ello se utiliza un instrumento llamado heliógrafo (FECYT, 2004).

8.6.1 Análisis descriptivo numérico de Brillo Solar

Se calcularon estadísticos básicos como: el valor máximo, mínimo, la mediana, la desviación estándar, el Coeficiente de Variación (CV) y el Coeficientes de Curtosis (CK) para cada una de las series de evaporación total mensual de las estaciones Anchique, Guamo, Jabalcon y Pst de Monta , los cuales se muestran en la Tabla 26.

La estación Anchique presenta el mayor rango de registro para el periodo común con una magnitud máxima de 271,0 h y una mínima de 139,7 h. La que presentan un rango de registro de brillo solar más corto es la estación Guamo, con una magnitud máxima mensual de 234,8 mm y una mínima de 35,3 h.

Los valores de brillo solar de medias están entre 159,1 y 194,1 h, mientras que los valores medianos están entre 158,9 y 192,8 h. Presentan una distribución asimétrica con cola a la derecha y concentración hacia el lado izquierdo, esto se debe a que la media es mayor en todas las estaciones que la mediana, aunque su diferencia no sea mucha.

Tabla 26. Descriptivos Numéricos Brillo Solar (1990 - 2011).

Estaciones	Mínimo (h)	Máximo (h)	Media (h)	Mediana (h)	Desviación Estándar (mm)	Coeficiente de Variación (%)	Asimetría (adim)	Curtosis (adim)
Anchique	139,7	271	194,1	192,8	24,1	12,4	0,348	0,235
Guamo	35,3	234,8	159,1	158,9	28,7	18,1	-0,404	1,65
Jabalcon	50,1	251,1	168,3	168,9	29,8	17,7	-0,254	1,312
Pst de Monta	94,8	249,5	162,2	162,3	29,0	17,9	0,218	-0,244

Fuente: Elaboración Propia a partir de la información proporcionada por el IDEAM, Proagua 2018.

El CV más alto se presenta en la estación Guamo con un valor de 18,1 %; mientras que, Anchique presento el valor más bajo con un CV de 12,4 % que quiere decir que presenta menos dispersión. Anchique y Pst de Monta presentan una distribución platicúrtica, dado que tiene un valor negativo de Ck. Guamo y Jabalcon como son negativos la cola de la distribución se alarga para valores inferiores a la media. Las estaciones Anchique, Guamo y Jabalcon poseen una distribución leptocurtica (CK>0), es decir que sus datos están más concentrados hacia la media, mientras que Pst de Monta presenta una distribución platicúrtica, dado que tiene un valor negativo de Ck, lo cual indica que su distribución es menos apunta que la distribución normal y por lo tanto presenta una menor concentración de los datos entorno a la media.

8.6.2 Brillo Solar (BS) mensual medio

El Brillo Solar (BS) mensual medio en el Acuífero fue determinada a partir de los datos mensuales multianuales de las estaciones Anchique, Guamo, Jabalcón y Pst de Monta (Tabla 27 y Figura 26). Este parámetro presenta un comportamiento muy similar en las cuatro estaciones, de esta manera enero es el mes con mayor BS, el cual empieza a descender hasta el mes con menos radiación que es abril; los meses siguientes de julio a diciembre se estabilizan con brillos solares más contantes.

En el norte del Acuífero, en donde tiene influencia la estación Guamo, se reportan brillos solares que oscilan entre 189 h para el mes de enero, el cual es el de más radiación y 135 h para el mes de abril que corresponde al de menos radiación. Entre los meses de junio a diciembre el BS adquiere un comportamiento más constante fluctuando entre 155 y 180 h.

El centro del acuífero, descrito por la estación Jabalcón, reporta el BS de mayor magnitud en el mes de enero del orden de 206 h, por su parte, el mes de abril siendo el mes con menos horas de sol muestra una magnitud de 142 h. Entre julio y diciembre el BS se estabiliza entre 165 y 184 h mensuales.

En cuanto al sur del Acuífero, definido por el comportamiento del BS de la estación Anchique, se observa que el mes con mayor radiación es enero con 225 h de brillo solar y de 170 h para abril que es el mes con menos horas de sol. De julio a diciembre el BS se estabiliza entre 188 y 208 h mensuales.

Se observa en la zona centro – este, definida por la estación Pst de Monta, que el mes con mayor radiación es enero con 195 h de brillo solar y de 135 h para abril que es el mes con menos horas de sol. De julio a diciembre el BS se estabiliza entre 156 y 178 h mensuales.

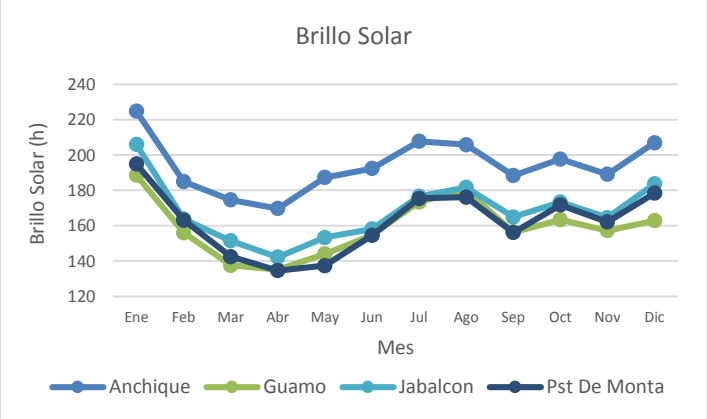
Tabla 27. Datos de Brillo Solar medio mensual (h) (1990-2011)

Estación	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
Anchique	225	185	175	170	187	192	208	206	188	198	189	207	2329
Guamo	189	156	138	135	144	155	173	180	156	163	157	163	1909
Jabalcón	206	164	151	142	153	158	177	182	165	173	165	184	2019
Pst de Monta	195	163	142	135	137	154	175	176	156	172	162	178	1947

Fuente: Elaboración Propia a partir de la información proporcionada por el IDEAM. Proagua, 2018.

El BS Anual muestra un leve aumento cuando se observan las estaciones de referencia de norte a sur. Por lo tanto, hacia el norte el Guamo presenta un BS anual de 1916 h, hacia el centro del Acuífero el BS anual llega a ser de 2019 h, mientras que en el sur con la estación Anchique la magnitud es de 2329 h de luz solar y Pst de Monta con 1947 h.

Figura 26. Comportamiento del Brillo Solar medio mensual (h) (1990-2011).



Fuente: Elaboración Propia a partir de la información proporcionada por el IDEAM. Proagua, 2018.

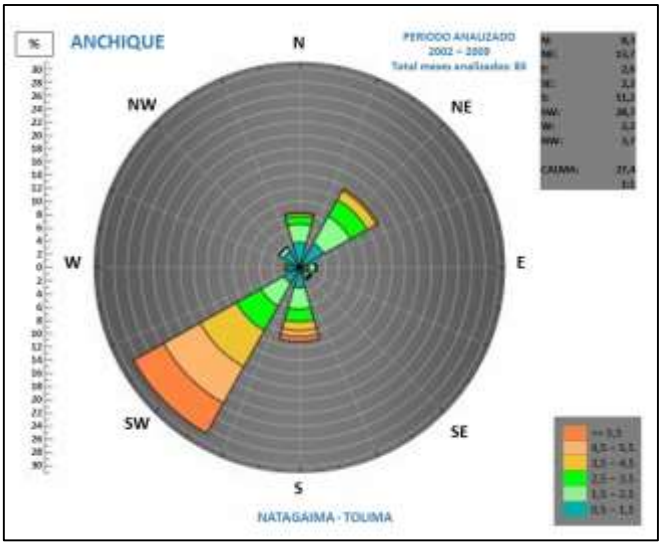
8.7 Dirección y Velocidad del viento

El viento consiste en el movimiento de aire desde una zona hasta otra. Existen diversas causas que pueden provocar la existencia del viento, pero normalmente se origina cuando entre dos puntos se establece una cierta diferencia de presión o de temperatura. En el primer

caso, cuando entre dos zonas la presión del aire es distinta, éste tiende a moverse desde la zona de alta presión a la zona de baja presión. En el caso de que sea una diferencia térmica el origen del viento, lo que ocurre es que cuando una masa de aire adquiere una temperatura superior a la de su entorno, su volumen aumenta, lo cual hace disminuir su densidad. Por efecto de la flotación, la masa de aire caliente ascenderá, y su lugar será ocupado por otras masas de aire, que en su desplazamiento ocasionarán el viento (FECYT, 2004).

Se utilizó la información disponible en el Atlas de Viento de Colombia (http://atlas.ideam.gov.co/visorAtlasVientos.html) tomando como referencia la rosa de los vientos de la estación Anchique para describir el comportamiento de la dirección y velocidad del viento de la zona, ver Figura 27. La dirección del viento que más predomina es el suroeste (SW) el cual se presenta el 28,7 % de las veces, con la velocidad más predominante que corresponde al rango entre 4,5 y 5,5 m/s. La segunda dirección que más se presenta es el noreste (NE) con una frecuencia de 13,7% y un rango de velocidad predominante entre 1,5 – 2,5 m/s. Por su parte los registros en donde no se presentaron velocidades de viento corresponden al 27,4% del total de datos registrados.

Figura 27. Rosa de los vientos. Estación Anchique (1990 - 2011)



Fuente: Página oficial del Atlas del Viento de Colombia, IDEAM.

8.8 Evaporación

La evaporación es la emisión de vapor de agua desde una superficie húmeda a temperatura inferior al punto de ebullición. Los dos factores principales que influyen en la evaporación son el suministro de energía para proveer el calor latente de vaporización, y la habilidad del viento para transportar el vapor fuera de la superficie de evaporación. La radiación solar es la principal fuente de energía calórica, mientras que la habilidad de transporte del vapor fuera

de la superficie de evaporación depende de la velocidad del viento y el gradiente de humedad especifica en el aire por encima de la zona de evaporación (Chow *et al*., 1994).

8.8.1 Análisis descriptivo numérico de Evaporación

Para la Evaporación se calcularon estadísticos básicos como: el valor máximo, mínimo, la mediana, la desviación estándar, el Coeficiente de Variación (CV) y el Coeficientes de Curtosis (CK) para cada una de las series de evaporación total mensual de las estaciones Anchique, Guamo, Jabalcon y Pst de Monta , los cuales se muestran en la Tabla 28 .

El mayor rango de registros de evaporación mensual la presentan la estación Jabalcon, que reporta para el periodo común de registros una magnitud máxima de 308,6 mm y una mínima de 74,8 mm. Mientras que, la que presentan un rango de registro de evaporación más cortó es la estación Pst de Monta, con una magnitud máxima mensual de 208,8 mm y una mínima de 70,2 mm. La que reporta el valor mínimo de evaporación es la estación Guamo con un valor de 44,5 mm.

Al analizar las magnitudes de evaporación medias y medianas guardan una relación similar para todas las estaciones, los valores medios están entre 117,9 y 161,2 mm, mientras que los valores medianos de evaporación están entre 115,0 y 154,5 mm. En todos los casos la evaporación media es mayor a la mediana y esto infiere que las series presentan una distribución asimétrica con cola a la derecha y concentración hacia el lado izquierdo, es decir que las evaporaciones con magnitudes menores son las que están más concentradas.

Tabla 28. Descriptivos Numéricos Evaporación (1990 - 2011).

Estaciones	Mínimo (mm)	Máximo (mm)	Media (mm)	Mediana (mm)	Desviación Estándar (mm)	Coeficiente de Variación (%)	Asimetría (adim)	Curtosis (adim)
Anchique	75,6	276,3	161,2	154,5	35,6	22,1	0,65	0,27
Guamo	44,5	261,3	132,9	127,8	33,9	25,5	0,89	1,29
Jabalcon	74,8	308,6	147,7	140,8	35,5	24,0	1,09	2,04
Pst de Monta	70,2	208,8	117,9	115,0	24,6	20,9	0,74	0,64

Fuente: Elaboración Propia a partir de la información proporcionada por el IDEAM, Proagua 2018.

Las estaciones que presentan mayor dispersión son Guamo y Jabalcon con un CV de 25,5 y 24,0 %; mientras que, Pst de Monta es la que menor dispersión presenta con un CV de 20,9 %.

Los valores de asimetría mayores que cero para todas las estaciones, indican que poseen asimetría positiva, es decir que la distribución de los datos de evaporación presenta la cola de distribución hacia la derecha. Esto quiere decir que los valores de evaporación de menor magnitud se presentan con mayor frecuencia y se concentran por debajo de la mediana y la media.

El coeficiente de Curtosis (Ck) indicó que ninguna estación presenta una distribución mesocrática (CK = 0), es decir que ninguna es similar a la distribución normal caracterizada por la campana de Gauss. Las estaciones poseen una distribución leptocurtica (CK>0), es decir que sus datos están más concentrados hacia la media.

8.8.2 Evaporación Total

La evaporación total se determinó a partir de los datos mensuales multianuales de las estaciones Anchique, Guamo, Jabalcón y Pst de Monta. Esta variable tiene un comportamiento inverso al comportamiento de la precipitación, ya que los meses de mayor evaporación corresponden a los meses de menos precipitación y viceversa, propio de un comportamiento bimodal. En general las temporadas de julio – agosto - septiembre y enero – febrero - marzo son los de mayor evaporación, siendo la primera temporada la que presenta las mayores magnitudes de evaporación. Por su parte, que los meses de noviembre y abril son los meses de menor evaporación, ver Tabla 29 y Figura 28.

La estación Guamo ubicada en el norte de la zona de estudio reporta las mayores magnitudes de evaporación en los meses de julio – agosto – septiembre (160,14 – 186,29 – 157,82 mm) y en los meses de enero – febrero – marzo (132,34 – 127,00 – 133,19 mm). Por su parte los meses de menor evaporación son noviembre y abril con magnitudes de 105,21 y 113,62 mm nrespectivamente.

En el centro del acuífero, Jabalcón reporta en la primera temporada de evaporaciones altas, magnitudes de 173,25 – 207,8 – 167,90 mm, para los meses de julio - agosto – septiembre y para la segunda temporada magnitudes de 148,98 – 138,6 -139,1 mm correspondiente a los meses de enero – febrero – marzo. Los meses de menores evaporaciones con sus respectivas magnitudes corresponden a noviembre (119,11 mm) y abril (122,36 mm).

Anchique, en el sur del acuífero, en sus dos temporadas de alta evaporación reporta magnitudes del orden de 199,20 – 219,44 – 194,13 mm (Julio – agosto – septiembre) y 161,93 – 152,80 – 156,36 mm (enero – febrero – marzo). Los meses de menor evaporación son noviembre y abril con magnitudes de 127,55 y 131,59 mm respectivamente.

En la estación Pst de Monta, en el contro – este de la zona, en sus dos temporadas de alta evaporación reporta magnitudes del orden de 140,21 - 219,44 - 194,13 mm (Julio – agosto – septiembre) y 123,75 - 111,39 - 116,17 mm (enero – febrero – marzo). Los meses de menor evaporación son noviembre y abril con magnitudes de 102,07 y 98,08 mm respectivamente.

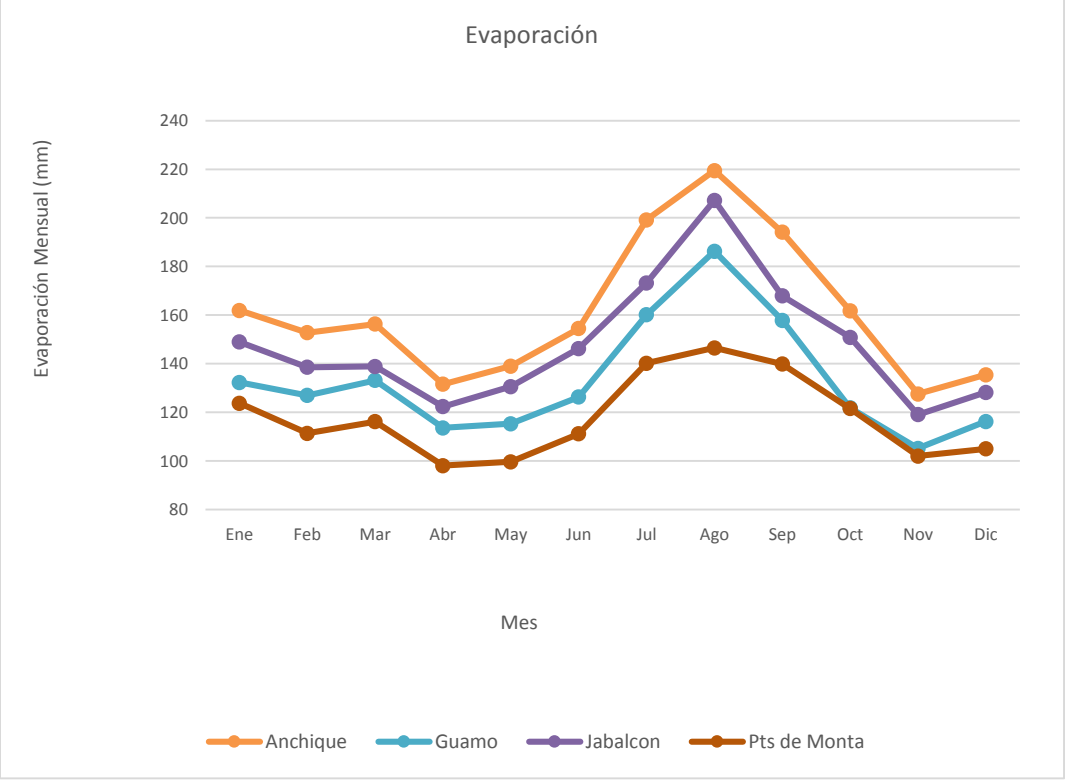
Tabla 29. Datos de Evaporación Total mensual (mm) (1990-2011).

Estación	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
Anchique	161,93	152,80	156,36	131,59	139,02	154,51	199,20	219,44	194,13	161,82	127,55	135,50	1933,87
Guamo	132,34	127,00	133,19	113,62	115,33	126,32	160,14	186,29	157,82	121,84	105,21	116,27	1595,37
Jabalcón	148,98	138,57	138,88	122,36	130,60	146,27	173,25	207,18	167,90	150,90	119,11	128,23	1772,22
Pst de Monta	123,75	111,39	116,17	98,08	99,67	111,20	140,21	146,54	139,89	121,56	102,07	105,01	1415,54

Fuente: Elaboración Propia a partir de la información proporcionada por el IDEAM. Proagua, 2018.

Con respecto a la Evaporación total Anual muestra un aumento en magnitud cuando se miran las estaciones de norte a sur. De esta manera Guamo reporta una magnitud de evaporación total anual de 1595,37 mm en el norte de la zona de estudio, hacia el centro Jabalcón reporta magnitudes anuales de 1772,22 mm, en Pts de Monta de 1415,54 mm y en el sur Anchique magnitudes de 1933,87 mm.

Figura 28. Comportamiento de la Datos de la Evaporación Total mensual (mm) (1990-2011).



Fuente: Elaboración Propia a partir de la información proporcionada por el IDEAM. Proagua, 2018.

8.9 Evapotranspiración Real

De acuerdo con Monsalve (1995), la evapotranspiración real es la pérdida de agua observada en una superficie líquida o sólida saturada en las condiciones reinantes atmosféricas y de humedad del suelo, por fenómenos de evaporación y de transpiración de las plantas.

Para la estimación de esta variable se aplicó la fórmula de Turc, (Turc,1954), con la cual a partir de la temperatura media anual y de la precipitación media anual se obtiene la evapotranspiración real.

$$ETR = \frac{\bar{P}}{\sqrt{0{,}9 + \frac{(\bar{P})^2}{\left(L_{(t)}\right)^2}}}$$ **Ecuación 7**

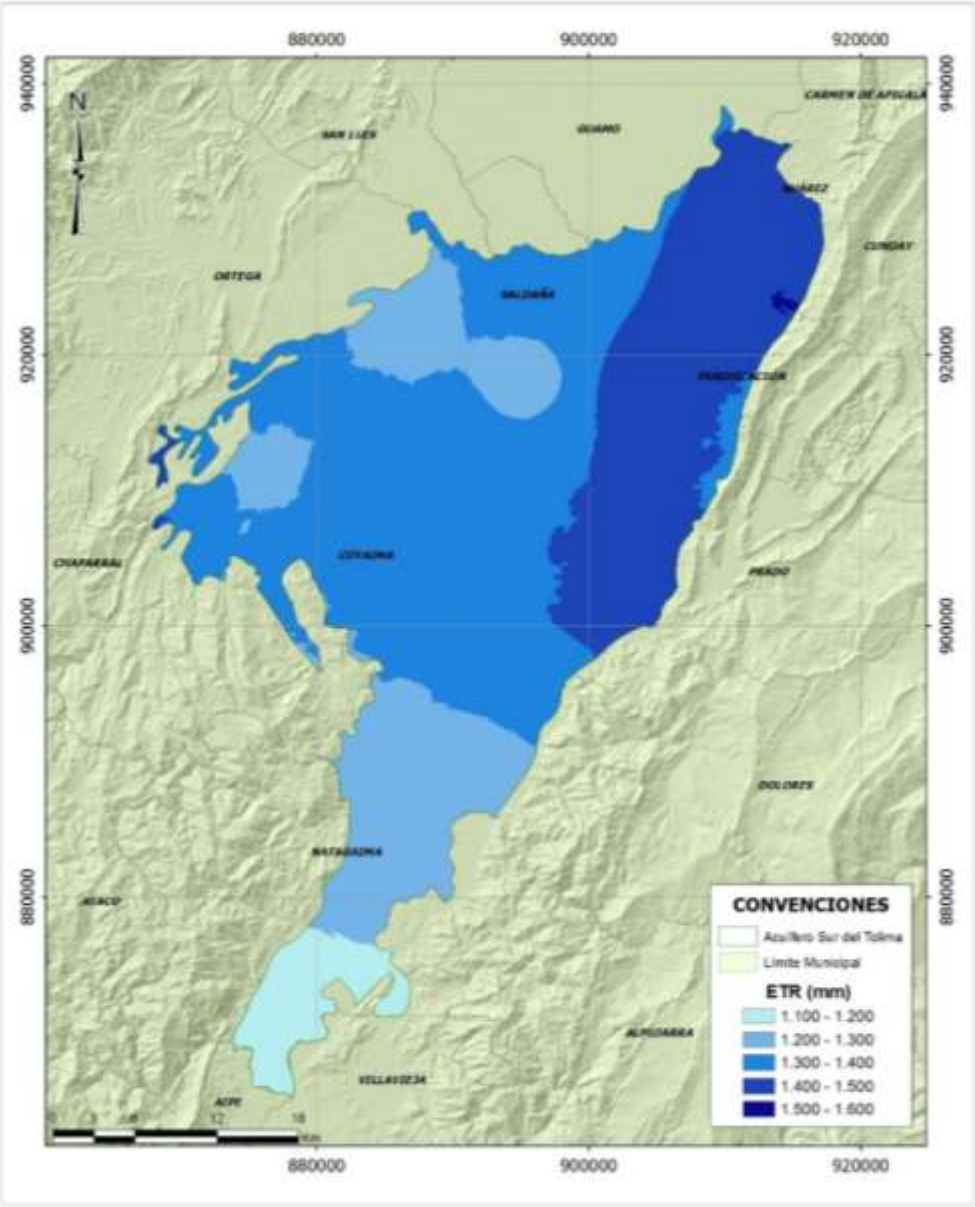
Donde;

ETR: Evapotranspiración real anual por unidad de área (mm/año)
$\bar{P}$: Precipitación anual por unidad de área (mm/año)
$L_{(t)}$: 300 +25t + 0,05t^3
t: Temperatura media anual (°C).

En la Figura 29, en donde se presenta la espacialización de la evapotranspiración real Anual, se puede observar que las mayores magnitudes de ETR se en encuentran en la zona noreste del acuífero con magnitudes del orden de 1400 a 1600 mm/año. En esta zona, además de presentar menores elevaciones respecto al resto del acuífero, se encuentra caracterizado por la presencia de mosaicos de bosques secundarios, con algunas especies naturales como pastos y árboles y especies introducidas como frutales, lo cual genera la alta ETR.

Las menores ETR, que corresponden a magnitudes de 1100 y 1200 mm/año, se localizan en el sur de la zona de estudio, la cual está caracterizada por una cobertura de vegetación muy baja y por la presencia de grandes extensiones de pastoreo.

Figura 29. Especialización de la evapotranspiración real Anual (mm/año).



Fuente: Elaboración Propia a partir de la información proporcionada por el IDEAM. Proagua, 2018.

8.10 Balance Hidrológico A Largo Plazo

Para la estimación de la escorrentía media se utilizó la metodología del Balance Hidrológico a largo plazo, donde se aplican las ecuaciones de conservación de masa de agua en un sistema o volumen de control, que se fundamenta en que la diferencia entre las entradas y salidas de un sistema hídrico está condicionado por la variación del volumen de agua almacenada. (UNESCO, 1971).

El flujo de escorrentía (Q) en una zona puede estimarse mediante la siguiente ecuación (Amaya, 2010):

$$\bar{Q}(x,y) = \int [P(X,Y) - E(X,Y)]\, dA$$

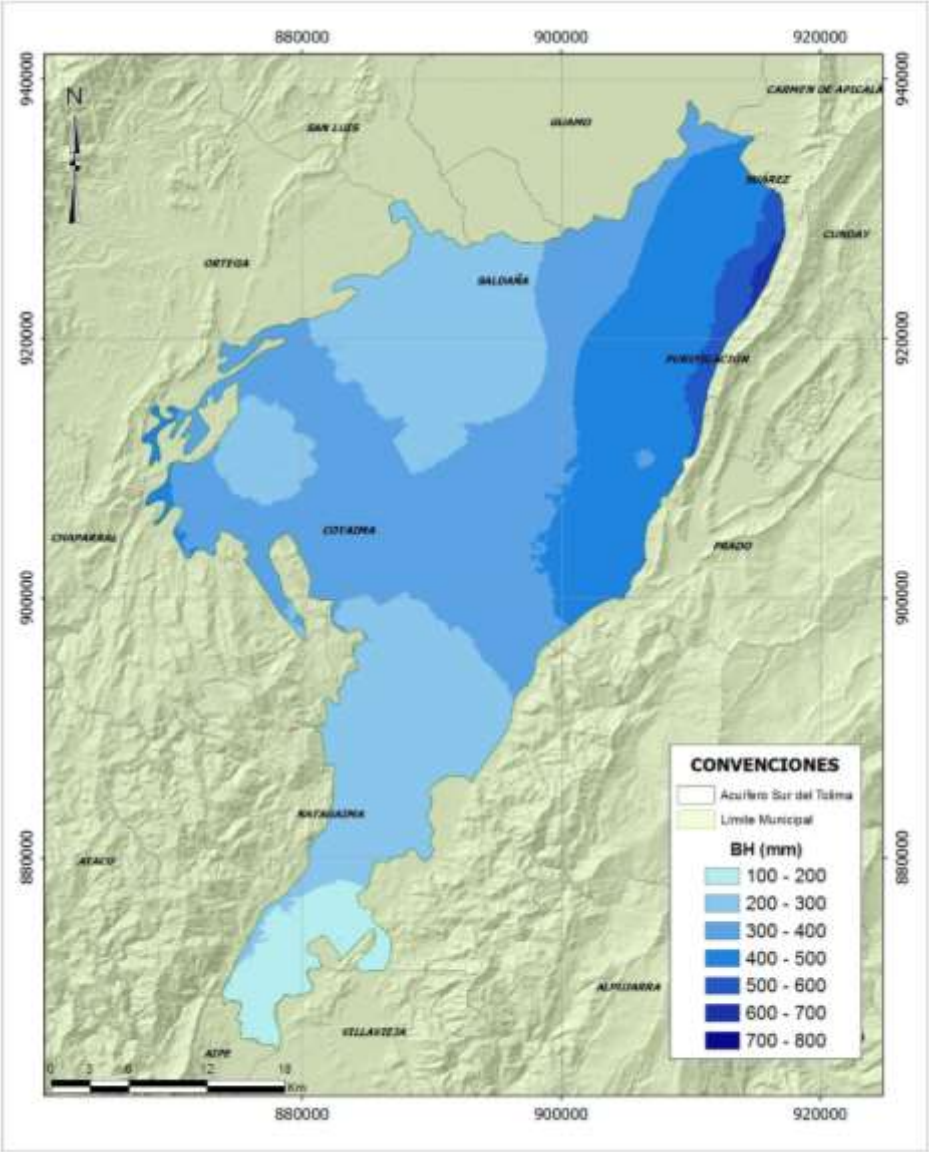
Donde;
$\bar{Q}(x,y)$: Flujo por unidad de área que el punto (x, y) le aporta a la escorrentía de la zona en mm/año.
P (x, y): Precipitación Total Anual media por unidad de área en el punto (x, y) en mm/año.
E (x, y): Evapotranspiración Real Total Anual media por unidad de área en el punto (x, y) en mm/año.
dA: Diferencial de área en m^2.

El balance hídrico de largo plazo espacializado se presenta en la Figura 30. Se puede inferir que el mayor aporte por escorrentía de la zona corresponde al noreste del acuífero, con magnitudes de 600 a 800 mm/año. Por otro lado, la zona sur es la que presenta la menor escorrentía, del orden de 100 a 200 mm/año, situación que podría estar influenciada por poca vegetación de la zona y por la influencia del desierto de la Tatacoa. La mayor parte de la zona de estudio, en especial la zona oriente y centro presenta escorrentías relativamente bajas del orden de 200 a 400 mm/año, lo cual tiene congruencia con las grandes zonas dedicas a pastoreo y a la escaza vegetación.

Durante los meses de enero y febrero, se celebraron varias reuniones en CORTOLIMA con el propósito de obtener respuesta del oficio FP-2018-007 de PROAGUA, el cual solicitaba información asociada al desarrollo de la orden contractual y al área de interés del proyecto.

A continuación, se presentan algunos detalles de la información que soportan la ejecución del proyecto.

Figura 30. Balance Hidrológico a largo Plazo (mm/año)



Fuente: Elaboración Propia a partir de la información proporcionada por el IDEAM. Proagua, 2018.

9 MODELACION HIDROLÓGICA

La base del estudio de la hidrología es la comprensión del ciclo hidrológico, de sus procesos e interrelaciones superficiales y subsuperficiales (Cabrera, 2011). La modelación hidrológica busca representar de manera simplificada los procesos presentes en la naturaleza, con el objetivo de predecir los mismos en situaciones futuras. Mediante formulaciones matemáticas y físicas confiables de los procesos hidrológicos, los modelos permiten estimar los caudales generados en puntos topográficos dentro de una cuenca de interés (Dávila Ordoñez, 2011), de igual manera, los modelos hidrológicos se presentan como una necesidad y una herramienta para conocer mejor el funcionamiento y el comportamiento de las diferentes componentes del ciclo hidrológico (Cabrera, 2011).

Para la estimación y la predicción de crecidas, los procesos físicos involucrados más importantes son la lluvia y la escorrentía superficial, lo que ha generalizado en la literatura el término lluvia – escorrentía. Por ello, el estudio de las crecidas se centra básicamente en el análisis de los fenómenos de producción y traslación de la escorrentía. Por otra parte, en la evaluación de los recursos hídricos, los fenómenos de evapotranspiración y de flujo subterráneo son los más importantes (Escamilla, Puertes, & Francés, 2017).

Con el fin de analizar el comportamiento hidrológico de las cuencas hidrográficas ubicadas al interior del acuífero del sur del Tolima (río Anchique, río Chenche, Quebradas Hilarco y Guaguarco) y de estimar los caudales y demás componentes del ciclo hidrológico (precipitación, evapotranspiración, infiltración y flujo base), se utilizó el Modelo Hidrológico Conceptual Agregado adaptado del modelo TETIS presentado por Vélez (2001), Francés et al. (2002 y 2007), además presentado por Medici et al. (2008) como modelo LU3. Este modelo ha servido de base en la obtención de información, ya sea a través de la reconstrucción de series naturales de caudales, en el llenado de datos faltantes o en la simulación de series para pronóstico a nivel diario y mensual. Se han realizado aplicaciones en 48 cuencas hidrográficas con diferentes características morfológicas e hidroclimáticas, obteniendo resultados bastante satisfactorios.

9.1 Selección de las estaciones hidroclimatológicas

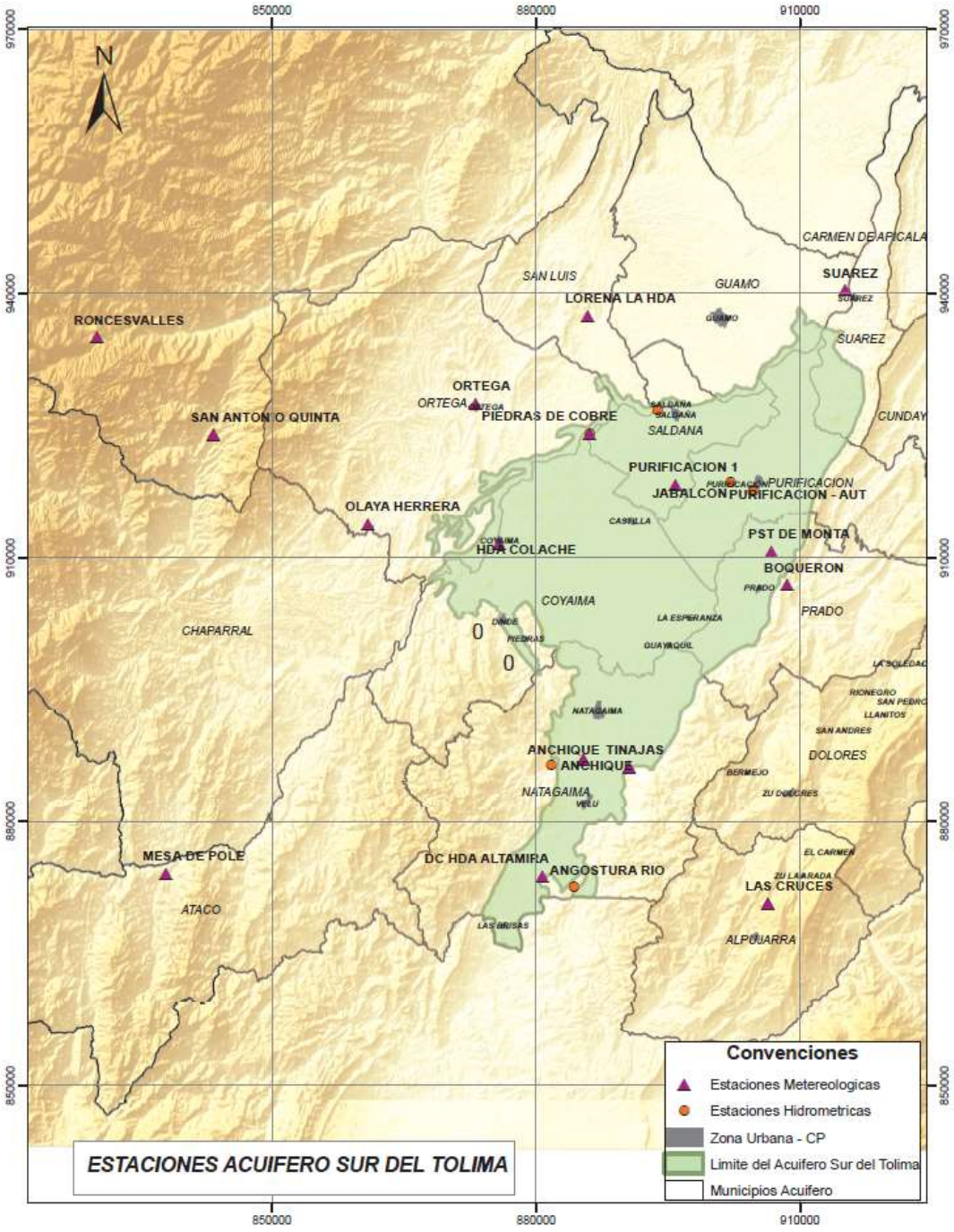
La selección de estaciones climáticas e hidrológicas permite generar una descripción espacial y temporal, de las diferentes variables climáticas, que inciden sobre las cuencas hidrográficas; aunque algunas estaciones producen información de precipitación, temperatura, evaporación, entre otras, es común encontrar estaciones, que solo registra una de estas variables climáticas.

Con el propósito de conocer las variables Hidroclimáticas precipitación, temperatura y de caudal medio de la zona de estudio, se hizo necesario hacer una búsqueda muy detallada de la información existente que permitiera conocer el comportamiento de las variables atmosféricas e hidrológicas que registra la zona sur del departamento del Tolima, para ello, se solicitó la información antes referenciada al Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM, a escala diaria, de todas las estaciones que se encuentran en el área de influencia del acuífero del sur, las cueles fueron seleccionadas a partir de la ubicación de las mismas con referencia al polígono de estudio. La Figura 31, muestra la ubicación y distribución, de las diferentes estaciones ubicadas en la zona de estudio y fuera de ella, como también su área de influencia.

Es importante mencionar que el uso de información hidroclimática a nivel diario, permite utilizar un mayor número de datos, lo cual beneficia de manera significativa los resultados esperados al momento de realizar la modelación hidrológica de cuencas, ya que con ello se permite visualizar de manera más directa, los diferentes fenómenos que se hayan presentado a lo largo de la serie de tiempo analizada, para que a partir de estos resultados se haga una adecuada Gestión del Recurso Hídrico existente.

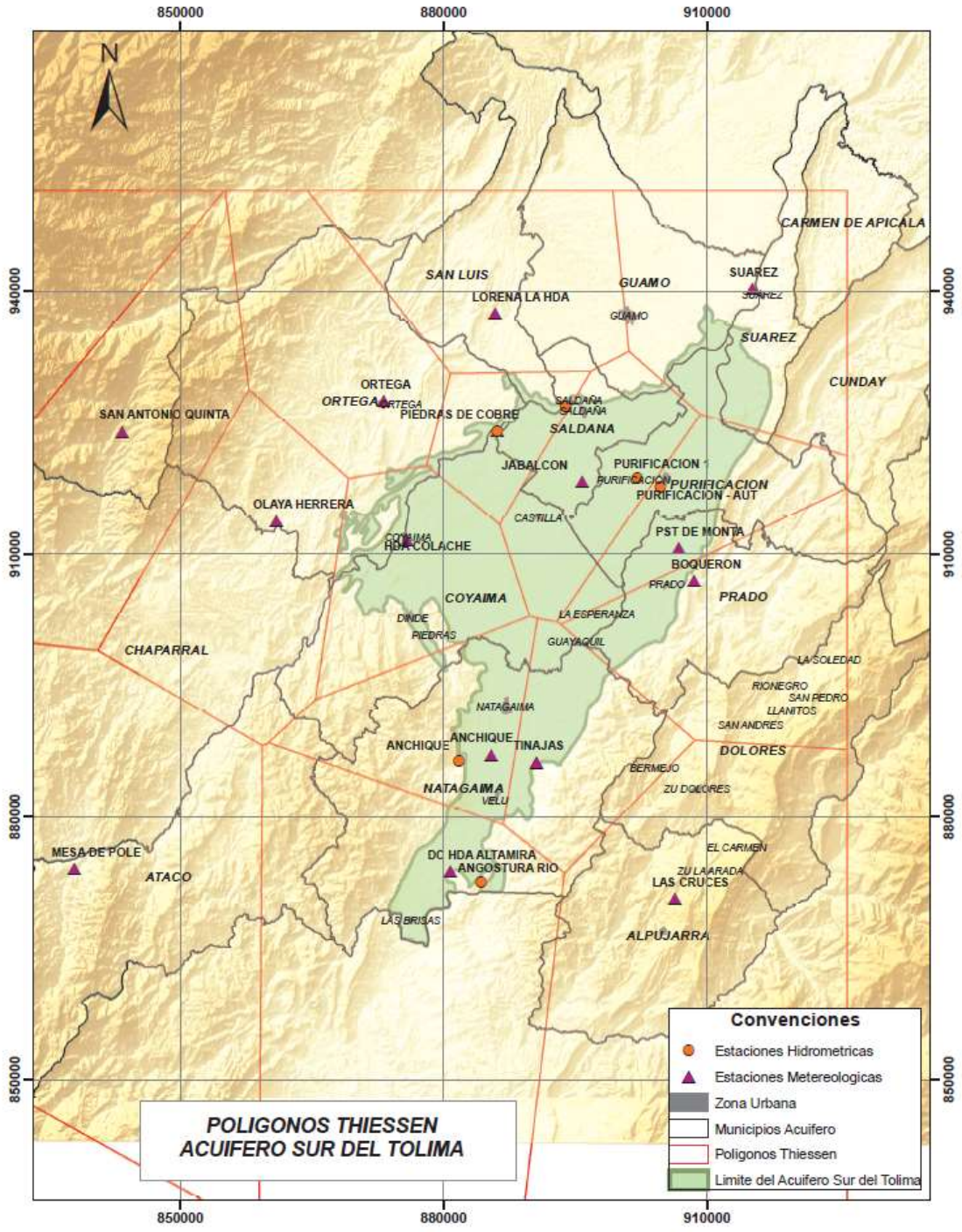
Con la finalidad de identificar las estaciones que registran o generan datos hidroclimáticos de precipitación, tempera, caudal y que influyen sobre las cuencas de los ríos Anchique, chenche, Magdalena y las Quebradas Hilarco y Guaguarco, se ubicaron todas las estaciones identificadas dentro del entorno de las cuencas antes mencionadas que registran o generan datos. Apoyándose en la metodología de distribución espacial de la lluvia caída en una zona "*polígonos de Thiessen*", se descartan las estaciones que no influyen en esta cuenca hidrográfica; la Figura 32, muestra la marcación de los polígonos de thiessen, generados para la zona de influencia del acuífero del sur y las cuencas existentes en la mismas, identificando las estaciones que tienen influencia sobre estas cuencas hidrográficas; así mismo, la Tabla 30, relaciona las dieciséis (16) estaciones climáticas que tienen influencia sobre las cuencas hidrográficas de los ríos Anchique, chenche, Magdalena y las Quebradas Hilarco y Guaguarco; así como sus características, periodo de tiempo homogenizado y variable climática que registra o mide.

Figura 31. Mapa de localización de estaciones meteorológicas e hidrológicas con registros de precipitación, temperatura y caudal ubicadas en las cuencas hidrográficas ubicadas al interior del Acuífero del Sur.



Fuente: Elaboración propia. Proagua, 2018

Figura 32. Mapa de distribución espacial de las estaciones meteorológicas e hidrológicas con registros de precipitación, temperatura y caudal ubicadas en las cuencas hidrográficas ubicadas al interior del Acuífero del Sur "polígonos de Thiessen"



Fuente: Elaboración propia. Proagua, 2018

Tabla 30. Información de las estaciones climatológicas seleccionadas

No	Código	Nombre	Clase	Cat	Estado	Corriente	Depto	Mpio	Lat	Long	Altitud	Fecha Instalación	Fecha Suspensión
1	22025010	Apto Planadas	Met	Cp	Sus	Ata	Tolima	Planadas	3,17	-75,67	1355	15/10/1964	15/07/2004
2	21135030	Anchique	Met	Cp	Act	Anchique	Tolima	Natagaima	3,57	-75,11	415	15/12/1963	Activa
3	21137040	Anchique	Hid	Lm	Act	Anchique	Tolima	Natagaima	3,57	-75,14	328	15/02/1972	Activa
4	21160080	Boqueron	Met	Pm	Act	Prado	Tolima	Prado	3,75	-74,9	337	15/03/1962	Activa
5	21167020	Boqueron	Hid	Lg	Sus	Prado	Tolima	Prado	3,75	-74,9	340	15/02/1959	15/02/2002
6	21130180	Dc Hda Altamira	Met	Pm	Act	Magdalena	Tolima	Natagaima	3,45	-75,15	500	15/11/1979	Activa
7	22050030	Hda Colache	Met	Pm	Act	Saldana	Tolima	Coyaima	3,8	-75,2	384	15/10/1959	Activa
8	22010010	Herrera	Met	Pm	Act	Saldana	Tolima	Rioblanco	3,29	-75,82	1625	15/03/1973	Activa
9	21135020	Jabalcón	Met	Co	Act	Chenche	Tolima	Saldaña	3,86	-75,02	332	15/05/1963	Activa
10	21180120	La Hda Lorena	Met	Pm	Act	Cucuana	Tolima	San Luis	4,03	-75,11	450	15/01/1978	Activa
11	21140120	Las Cruces	Met	Pm	Act	Cabrera	Tolima	Alpujarra	3,43	-74,92	1400	15/10/1974	Activa
12	22055020	Mesa De Pole	Met	Co	Act	Saldana	Tolima	Ataco	3,46	-75,54	699	15/03/1968	Activa
13	22060090	Olaya Herrera	Met	Pm	Act	Tetuán	Tolima	Ortega	3,82	-75,33	450	15/07/1973	Activa
14	22060070	Ortega	Met	Pm	Act	Ortega	Tolima	Ortega	3,94	-75,22	388	15/11/1971	Activa
15	22020020	Pena Rica	Met	Pm	Act	Ata	Tolima	Planadas	3,05	-75,76	1793	15/12/1973	Activa
16	22060100	Piedras De Cobre	Met	Pm	Act	Saldana	Tolima	Saldaña	3,91	-75,1	359	15/04/1979	Activa
17	21165010	Pst De Monta	Met	Co	Act	Prado	Tolima	Prado	3,79	-74,92	321	15/03/1987	Activa
18	22057070	Pte Colache	Hid	Lg	Act	Saldana	Tolima	Coyaima	3,79	-75,2	372	15/10/1976	Activa
19	21137020	Purificación 1	Hid	Lg	Act	Chenche	Tolima	Purificación	3,86	-74,96	314	15/08/1968	Activa
20	21137050	Rio Angostura	Hid	Lg	Act	Magdalena	Tolima	Natagaima	3,44	-75,12	345	15/01/1975	Activa
21	22070010	Roncesvalles	Met	Pm	Act	Cucuana	Tolima	Roncesvalles	4,01	-75,61	2581	15/07/1962	Activa
22	22065040	San Antonio Quinta	Met	Cp	Act	Tetuán	Tolima	San Antonio	3,91	-75,49	1448	15/12/1971	Activa
23	21180160	Suarez	Met	Pm	Act	Magdalena	Tolima	Guamo	4,06	-74,84	319	15/12/1971	Activa
24	21150030	Tinajas	Met	Pm	Act	Magdalena	Tolima	Natagaima	3,57	-75,06	290	15/09/1975	Activa

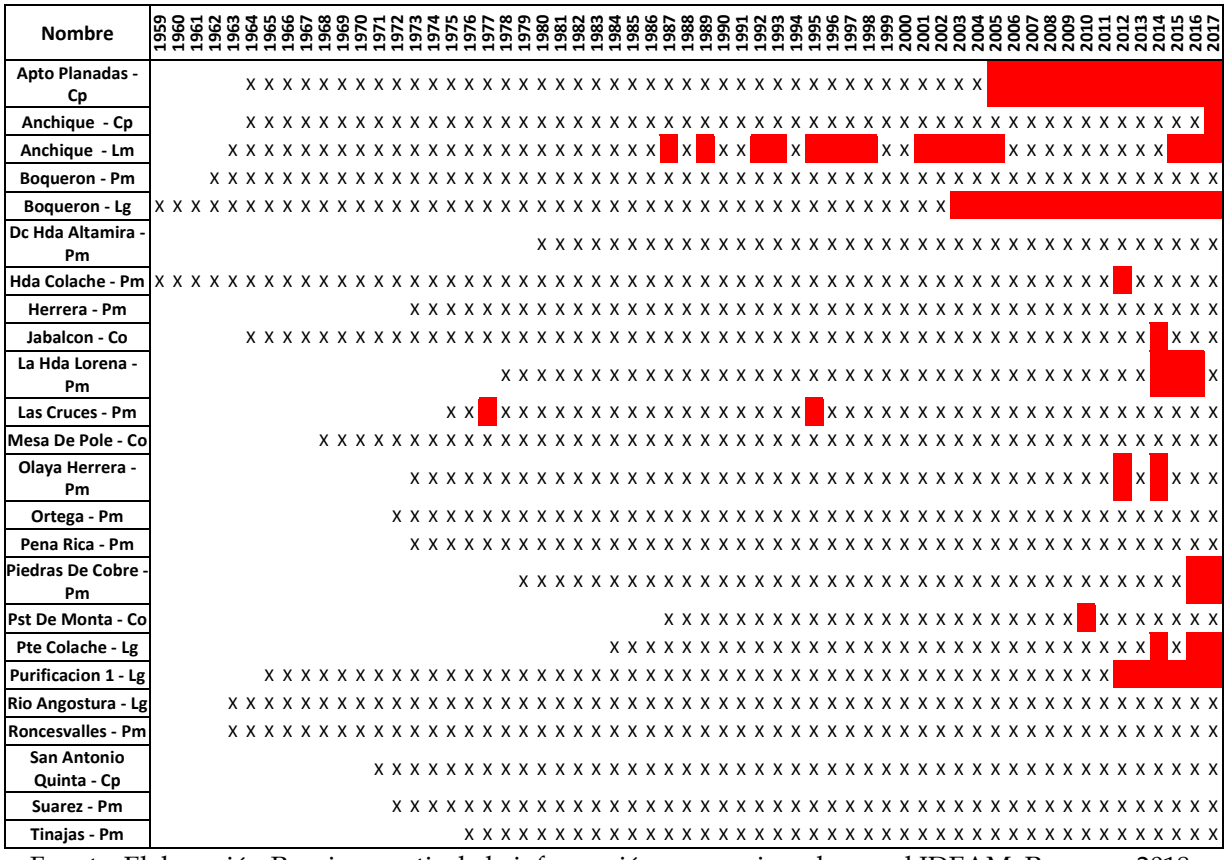
Fuente: Elaboración Propia a partir de la información proporcionada por el IDEAM. Proagua, 2018.

PM: Pluviométrica;
PG: Pluviográficas;
CP: Climatológica principal;
CO: Climatológica ordinaria

9.2 Determinación del periodo común de registro

Establecer el periodo común de registro para el análisis hidroclimatológico implica revisar los datos de cada una de las estaciones verificando los periodos en los cuales se cuenta con el mayor número de datos de manera continua. En la Tabla 31 se presentan las estaciones hidro climatológicas para la cual las x corresponden a los años que se tiene registros y el color rojo corresponde a los años en los que se presentan datos faltantes para el año completo. De esta manera se observa que las estaciónes con mayor número de años de registro son Boquerón Lg y Hda Colache, cuyas fechas de instalación fueron para ambas estaciones en 1959. Las estaciones con menos años de registro son Pst de Monta y Pte Colache, cuyas actividades inician en los años de 1987 y 1984, y presentan un periodo continuo de registros de 30 y 33 años.

Tabla 31. Periodo común de registro de las Estaciones Hidroclimatológicas.



Fuente: Elaboración Propia a partir de la información proporcionada por el IDEAM. Proagua, 2018.

Se define el periodo común de registro de enero de 1987 hasta diciembre de 2015 para un total de 28 años de registros continuos. Las dinámicas de cada estación asociada a la calidad y

la usencia de datos pueden ocurrir por algunas razones entre ellas: daños en los equipos de medición, por ausencia de personal capacitado que los registre, entre otros.

9.3 Determinación y cálculo de datos faltantes

El análisis de DF es un procedimiento que utiliza información contenida en una muestra para asignar un valor a la variable que carezca de algún o algunos valores en su serie. Esta ausencia de información puede atribuirse a que no se registró dicho valor en la estación o porque se detecta que el comportamiento no corresponde con el esperado. El objetivo principal para hallar un dato faltante, es poder obtener un conjunto de datos con información completa y consistente, para posteriormente aplicar técnicas estadísticas (Castro-Llanos & Carvajal-Escobar, 2013).

Los porcentajes de datos faltantes (% DF) así como el número de datos faltantes (N° DF) para las tres variables utilizadas en la modelación que son precipitación, Temperatura media y Caudal medio se presentan en la Tabla 32. Las estaciones con mayor número de datos faltantes y sus respectivos porcentajes son Apto Planadas (56.6 %DF) y Mesa de Pole (55,5 %DF) de la variable temperatura media y la estación Boquerón (49,4 %DF) de la variable caudal medio. En general las estaciones de precipitación presentan un %DF menor al 10%, solo la estación Pena Rica supera este porcentaje, sin embargo se decide aceptar debido a que se encuentra en un lugar estratégico para la modelación. Las demás variables presentan alto %DF, sin embargo son las únicas que miden las variables deseadas y por lo tanto la única información que se tiene para modelar.

Tabla 32. Datos faltantes de las series de precipitación Total Diaria

N°	Variable	Estación	Cat	N° DF	% DF
1	Precipitacion	Boqueron	Pm	65	0,6
2		Hda Altamira	Pm	109	1,0
3		Anchique	Cp	242	2,3
4		Hda Colache	Pm	558	5,3
5		las Cruces	Pm	99	0,9
6		Herrera	Pm	493	4,7
7		Jabalcon	Co	285	2,7
8		La Hda Lore	Pm	947	8,9
9		MESA DE POLE	Co	333	3,1
10		Olaya Herrera	Pm	594	5,6
11		Ortega	Pm	334	3,2
12		Pena Rica	Pm	1524	14,4
13		Piedras de Cobre	Pm	313	3,0
14		Pst Monta	Co	693	6,5
15		Roncesvalles	Pm	61	0,6
16		San Antonio Quinta	Cp	119	1,1
17		Suarez	Pm	8	0,1

N°	Variable	Estación	Cat	N° DF	% DF
18		Tijas	pm	96	0,9
1	Temperatura media	Anchique	Cp	7	0,07
2		Jabalcon	Co	4	0,04
3		Apto Planadas	Cp	5993	56,6
4		Mesa de Pole	Co	5880	55,5
5		Pste Monta	Co	3136	29,6
1	Caudal medio	Anchique	Lm	5152	48,6
2		Angostura Rio	Lg	462	4,36
3		Boqueron	Lg	5232	49,4
4		Purificacion1	Lg	961	9,07
5		Pte Colache	Lg	613	5,79

Fuente: Elaboración Propia a partir de la información proporcionada por el IDEAM, Proagua 2018.

Una vez se identificaron los DF de las series, se procedió a completarlos utilizando primero el método de proporciones normales para estaciones cercanas aplicando la siguiente ecuación (Paulhus & Kohler, 1952):

$$p_x = {}^{N_x}/_{n}\left[\left({}^{P_1}/_{N_1}\right) + \left({}^{P_2}/_{N_2}\right) + \cdots + \left({}^{P_n}/_{N_n}\right)\right] \qquad \textbf{Ecuación 8}$$

Donde;

Px: Valor de dato climatológico de la estación "x" durante el período de tiempo por ompletar.

n: número de estaciones climatológicas con datos de registros continuos cercanas a la estación "x", la cual va a ser completada en su registro.

P1 a Pn: Magnitud de dato climatológico de las estaciones 1 a n, en el período de tiempo por completar.

Nx: Valor de dato climatológico medio anual de la serie histórica de la estación "x"

N1 a Nn: Valor de dato climatológico media anual de las series históricas de las estaciones de 1 a n.

ESQUEMA CONCEPTUAL DEL MODELO DE TANQUES TETIS VERSIÓN AGREGADA.

En el modelo propuesto para el desarrollo del presente trabajo, la producción de la escorrentía superficial en una cuenca se puede representar por cuatro tanques o niveles de almacenamiento conectados entre sí, como puede observarse en la Figura 33.

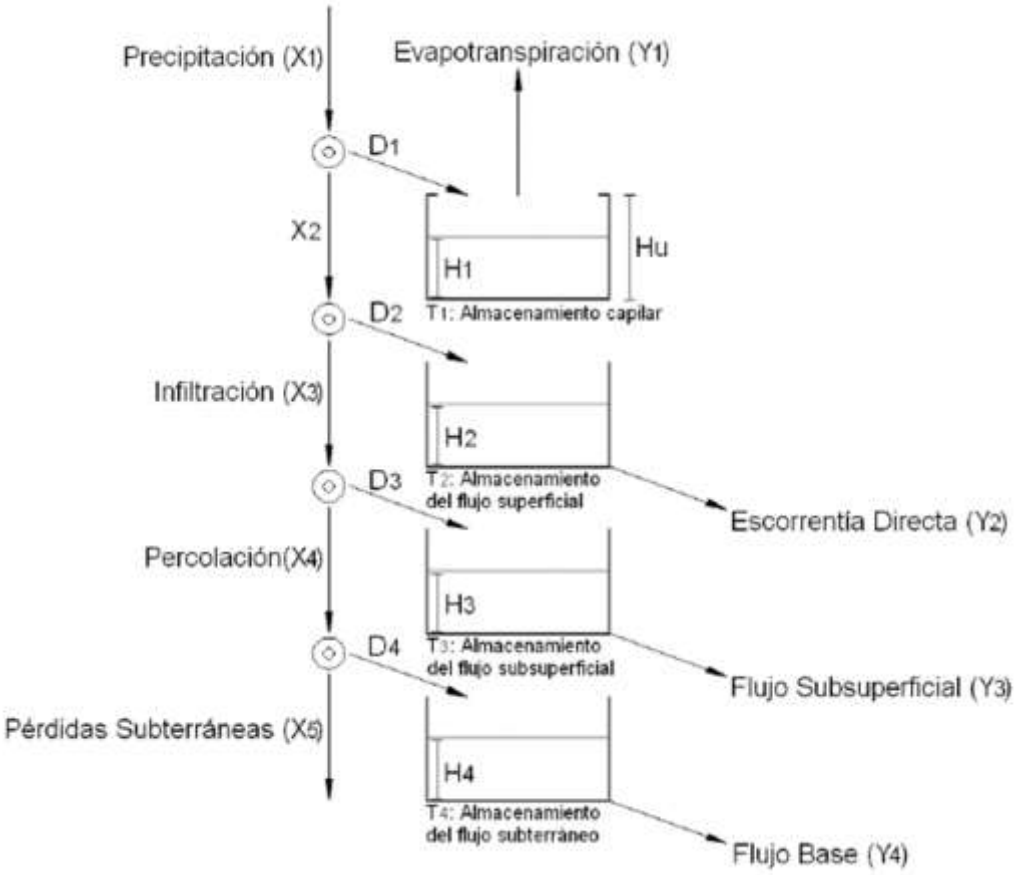
En cada intervalo de tiempo, la precipitación *(X1)*, se distribuye a los distintos almacenamientos, donde en función del volumen almacenado en cada uno de ellos *(Hi)*, se

determina su contribución a la escorrentía *(Yi)*. El modelo realiza el balance de agua en cada tanque y actualiza los volúmenes almacenados en cada uno.

De acuerdo con la configuración del modelo, la precipitación *(X1)* se estima según los registros diarios de las estaciones más cercanas, empleando un método de interpolación espacial. La cantidad de agua que se deriva en cada nodo *(Di)* y la que continua hacia los niveles inferiores *(Xi)* por el conducto distribuidor depende de la cantidad de agua disponible, el estado del almacenamiento del tanque y de la capacidad del conducto distribuidor aguas abajo del nodo, la cual se puede relacionar con la conductividad hidráulica en el subsuelo.

La descarga *(Yi)* en cada uno de los tanques está en función del volumen almacenado y de las características de la cuenca que se pueden asociar con el tiempo de permanencia del agua en un elemento de almacenamiento temporal.

Figura 33. Conceptualización vertical del modelo hidrológico de Tanques.



Fuente: (Escamilla *et al.*, 2017).

Tanque 1 (T1): Tanque de almacenamiento capilar.

Este tanque representa la intercepción de las plantas, la detención del agua en los charcos y el agua que se retiene en el suelo por las fuerzas capilares. De este tanque solo sale agua producto de la evapotranspiración y no contribuye a la escorrentía superficial.

El valor obtenido de lluvia entra a un conducto del que se deriva una cantidad *D1* para el tanque *T1*. Se supone que este tanque tiene una capacidad máxima *Hu*, igual a la suma de la capacidad de almacenamiento de "agua útil" en el suelo y la capacidad de la cobertura de la superficie para almacenar agua. La capacidad de almacenamiento de "agua útil" está relacionada con la cantidad de agua que hay que agregar a una columna de suelo muy seco hasta alcanzar el mayor almacenamiento capilar posible, sin que el agua fluya por la acción de la gravedad. La capacidad de la cobertura de la superficie por lo general está relacionada con la cobertura vegetal.

La cantidad de agua que se deriva *D1* y que entra al almacenamiento estático, corresponde de una forma muy elemental al mínimo entre el agua existente en el conducto distribuidor *(X1)*, el que se requiere para llenar el tanque de almacenamiento capilar *(Hu - H1)*, y el máximo *(Hu)* que puede ingresar al suelo durante un intervalo de tiempo.

Tanque 2 (T2): Almacenamiento del flujo superficial.

En este almacenamiento se representa el agua que fluye por la ladera o escorrentía directa. Se supone que la capa superior del suelo tiene una conductividad hidráulica *Ks* representativa o característica y que se asocia al tipo de suelo y a su estructura, lo cual está relacionando la cobertura vegetal, el uso y el manejo del suelo.

Por lo tanto, la cantidad de agua que entra al almacenamiento *T2*, está relacionada con la capacidad del suelo para dejar pasar el agua a su interior *Ks* (una conductividad hidráulica de la capa superior del suelo asociada a la cobertura en condiciones de saturación) y con el flujo excedente del almacenamiento capilar *X2*.

Tanque 3 (T3): Almacenamiento del flujo subsuperficial

Este almacenamiento representa el agua almacenada en la capa superior del suelo mientras fluye lentamente hacia la red de drenaje, se desarrolla inicialmente sobre una capa delgada que fluye lateralmente hacia abajo por el interior de esta capa hasta que sale a los elementos de la red de drenaje.

De acuerdo con lo propuesto en el modelo, durante el intervalo de tiempo, se tiene una cantidad de agua gravitacional *X3* que se mueve verticalmente hacia el interior del suelo. De esta cantidad, una parte *X4*, podrá percolar o seguir hacia la zona inferior del suelo, mientras

que el resto del agua se deriva al almacenamiento superior del suelo donde se convertirá en flujo subsuperficial.

Se supone igualmente que la capa inferior del suelo tiene una capacidad de percolación representativa que se asocia al tipo de subsuelo y su estructura, lo cual está estrechamente relacionado con las características geológicas (litológicas y estructurales) y geomorfológicas de las capas inferiores del suelo. En algunos casos la capacidad de percolación y su variabilidad espacial se pueden inferir por características del relieve, algunos rasgos morfológicos, el desarrollo de la vegetación, el uso y manejo del suelo y la producción de flujo base aguas abajo.

La cantidad de agua que ingresa al almacenamiento durante el intervalo de tiempo se puede asociar con el flujo excedente del almacenamiento del flujo superficial en ladera *X3* y la conductividad hidráulica en la capa inferior del suelo (subsuelo) en condiciones de saturación que se conoce como capacidad de percolación *Kp*.

Tanque 4 (T4): Almacenamiento del flujo subterráneo

Se representa por un tanque donde se considera el almacenamiento del agua gravitacional mientras fluye a través del interior del suelo hacia la red de drenaje, en lo que se podría considerar como el acuífero, y donde sale a formar el flujo base.

El volumen de agua que durante el intervalo de tiempo ingresa por percolación X4 tiene la posibilidad de que una cantidad de agua siga hacia las pérdidas subterráneas X5 y que el resto sea derivado hacia el almacenamiento subterráneo T4.

Datos de entrada

Para el uso del modelo hidrológico de Tanques, se hizo necesario utilizar la información de caudales, precipitación y temperatura a nivel diaria de las estaciones ubicadas en la zona de estudio. A continuación, se describe la información y datos de entrada para la ejecución del modelo TETIS versión agregada.

9.3.1 Información hidroclimatológica

La información hidroclimatológica utilizada en la modelación de las cuencas ubicadas al interior del acuífero del sur, correspondió a los registros diarios de precipitación, caudal y temperatura, tomados de las estaciones descritas en la Tabla 30, operadas por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM).

Para el uso del modelo Hidrológico modelo TETIS versión agregada, se utilizó la mayor serie de datos a nivel diario que registraron las estaciones seleccionadas para este fin; el registro de

datos estuvo entre 01 de enero de 1987 y el 31 de diciembre de 2015, dentro de este espacio de tiempo se realizó el proceso de calibración y validación de los datos, esto con el propósito de conocer el comportamiento hidrológico de las cuencas de los Ríos Anchique, Chenche y las Quebradas Hilarco y Guaguarco.

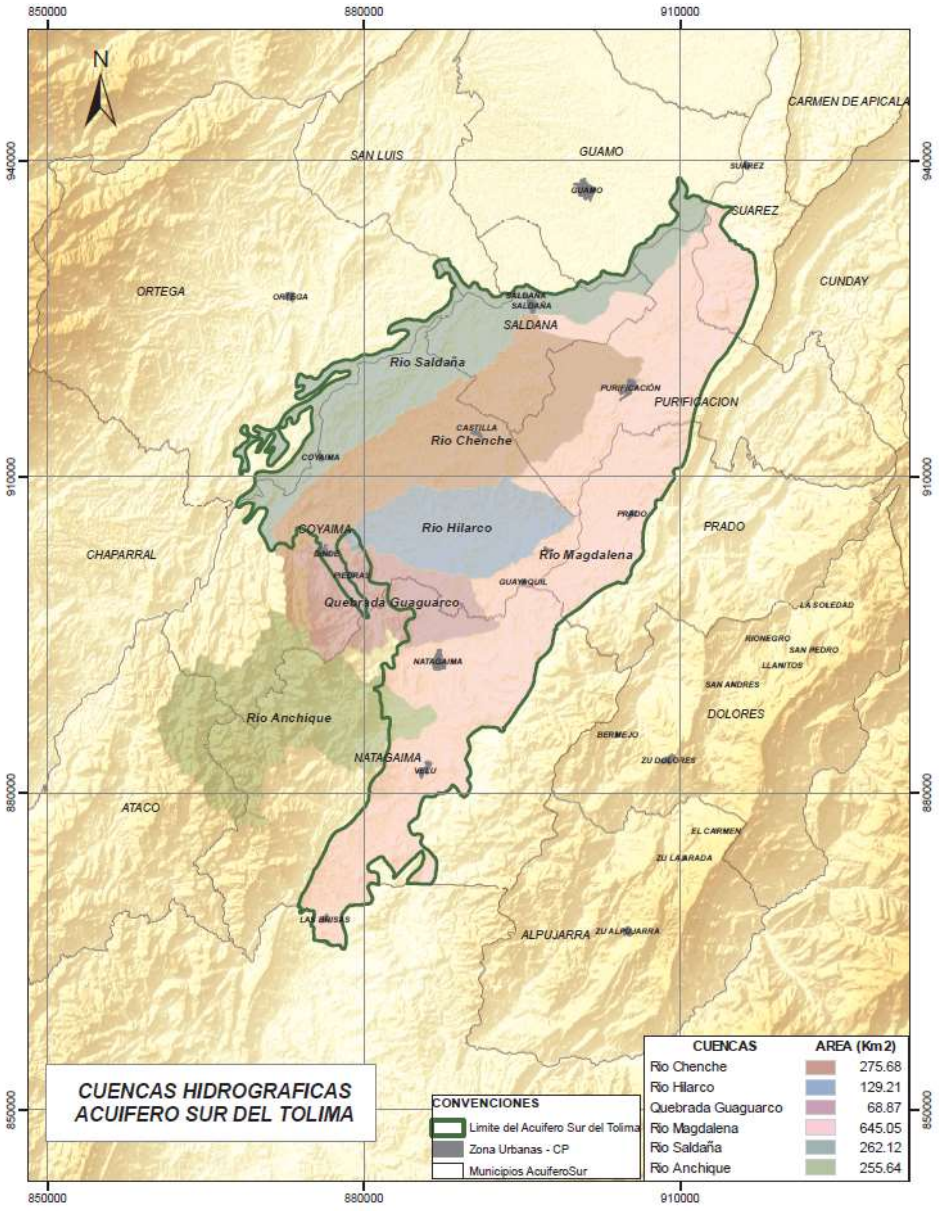
9.4 Modelación de caudales

9.4.1 Balances hídricos a partir de modelación hidrológica, modelo TETIS agregado

Con el propósito de efectuar el balance hidrológico, fue empleado el modelo conceptual, físicamente basado en el modelo TETIS, versión agregada, a escala diaria.

Para tal efecto se realizaron los procedimientos de calibración y validación del mismo, el cual consistió en distribuir el periodo total de tiempo existente en dos partes; E proceso de modelación se realizó a las cuencas de los río Anchique, Chenche y las quebradas Hilarco y Guaguarco ubicadas en la zona de influencia del Acuífero del sur, tal como se observa en el mapa de cuencas Figura 34.

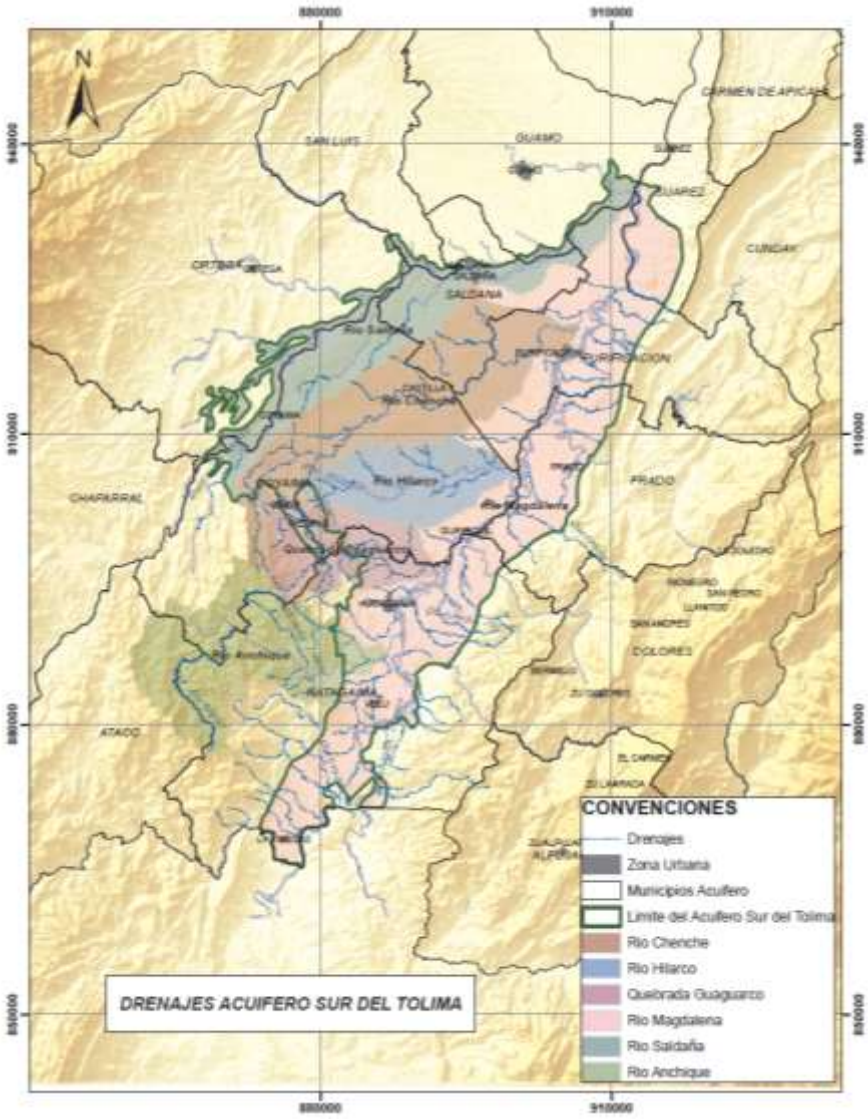
Figura 34. Mapa de cuencas hidrográficas Acuífero del sur.



Fuente: Elaboración propia. Proagua, 2018

En la selección de los cuerpos de agua a modelar, río Anchique, Chenche y las quebradas Hilarco y Guaguarco, fue necesario ubicar las mismas dentro del polígono con su respectivo sistema de drenaje, esto con el propósito de identificar el aporte hídrico al área seleccionada como acuífero del sur, Figura 35.

Figura 35. Mapa de cuencas hidrográficas y red de drenajes ubicado en el área del Acuífero del sur.



Fuente: Elaboración propia. Proagua, 2018

- ***Calibración del modelo Hidrológico de tanques - TETIS.***

Previamente a la aplicación de un modelo de simulación hidrológica, con fines de conocer la Gestión integral del recurso Hídrico en una región, es importante que estos sean ajustados a las condiciones meteorológicas y fisiográficas particulares de la zona de estudio. Este proceso de adecuación, en donde uno o más parámetros matemáticos que visualizan los comportamientos fiscos, se conoce como calibración.

La calibración de los modelos hidrológicos es el proceso mediante el cual los parámetros utilizados en el cálculo de las variables hidrológicas varían dentro de un rango físico posible, hasta adquirir valores tales que la respuesta del modelo sea suficientemente y similar a los registros hidrométricos registrados en el mismo periodo de tiempo. La calibración se utiliza para dar valores numéricos aquellos parámetros sobre los que se disponen pocos o ningún dato; esta etapa busca reproducir con la mayor fidelidad el funcionamiento de una cuenca y los datos meteorológicos que se hayan observados.

Para el proceso de calibración de los caudales de las diferentes cuencas objeto del presente análisis, se utilizó la información hidroclimatológica (Precipitación, temperatura y caudal), recopilada, analizada y procesada que pudo ser obtenida de parte IDEAM; para lo cual se determinó que la cuenca del río Anchique tuviera un periodo de tiempo de 4 años (2007 a 2010) y para la cuenca del río Chenche un periodo de tiempo de 10 años (1987 a 1996), la escasa información de caudales de la cuenca del río Anchique, hizo que la serie de tiempo a calibrar fuera inferior a la serie de tiempo utilizada para el mismo fin en el río Chenche. Es de resaltar que, aunque el periodo de tiempo utilizado para el proceso de calibración del río Anchique fue de tan solo 4 años, permitió ver claramente periodos secos y húmedos, ya que los registros de caudal, precipitación y temperatura de todas las estaciones seleccionadas para esta cuenca presentaban una buena consistencia.

En la Tabla 33, se muestran las estaciones de lluvia, caudal y temperatura utilizadas durante la calibración de los caudales de las cuencas de los río Anchique y Chenche, teniendo como sitio de calibración de caudales las estaciones de Anchique y Purificación 1, ubicadas sobre la parte baja de las cuencas antes mencionadas.

Tabla 33. Estaciones utilizadas para la fase de modelación

Estaciones de precipitación			
CUENCA	***ESTACION***	***AREA DE INFLUENCIA POR ESTACION***	***%***
Anchique	Hda. Altamira	7015.03	27.44
	Anchique	18347.44	71.77
	Hda. Colache	201.76	0.79
Área Total Cuenca		***25564.23***	***100.00***
Chenche	Jabalcon	17378.27	59.13
	Hda. Colache	10653.15	36.25
	Piedras de Cobre	1359.44	4.63
Área Total Cuenca		***29390.86***	***100.00***
Estaciones de Caudal			
CUENCA	***ESTACION***	***AREA DE INFLUENCIA POR ESTACION***	***%***

Anchique	Est. Anchique	255.64	100.00
Chenche	Est. Purificación 1	293.91	100.00
Estaciones de Temperatura			
CUENCA	***ESTACION***	***AREA DE INFLUENCIA POR ESTACION***	***%***
Anchique	Est. Anchique	255.64	100.00
Chenche	Est. Anchique	293.91	100.00

Fuente: Elaboración propia. Proagua, 2018

Los métodos gráficos y estadísticos fueron empleados para la evaluación del proceso de calibración de caudales para las cuencas de los Rio Chenche y Anchique; en las Tabla 34 y Tabla 35, se presentan los resultados de las funciones objetivo para el período de calibración de la estación Anchique; mostrando además que el modelo presenta un adecuado ajuste y sus resultados son satisfactorios.

- ***Calibración río Anchique:***

Tabla 34. Valores estadísticos de calibración del modelo TETIS versión agregada.

Q Med Simulado	**8.027**	**BALANCE**	**RMSE**	**RMSE Min**	**E (NASH)**	**F (Max -1)**	**F (Min 2)**	**F (Med 0)**	**E2 (NASH)**
Q Med Real	**8.406**	**4.51**	**9.91**	**10.81**	**15.963**	**5653005**	**1606**	**143547**	**41.06**
Umbral RMSE	**8.544**								

Tabla 35. Parámetros de calibración del modelo TETIS versión agregada.

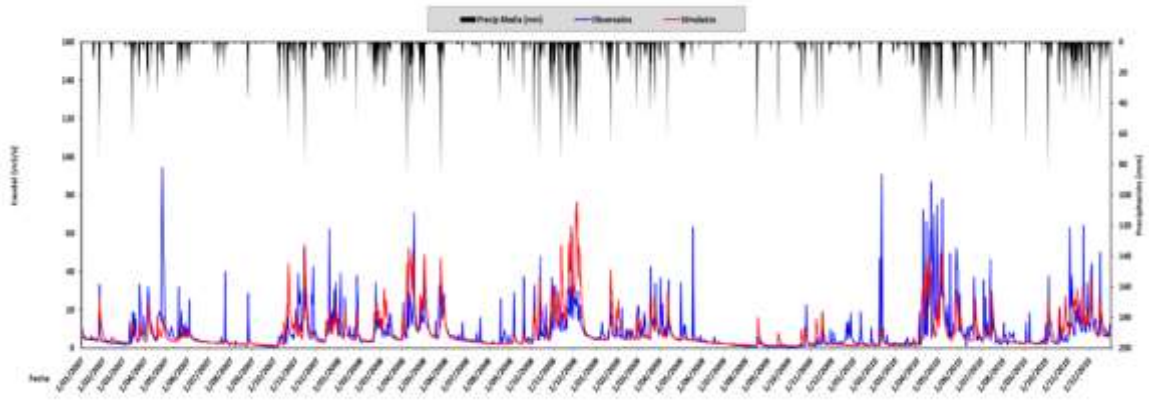
Parámetros de Calibración	
Almacenamiento capilar	89
Conductividad capa sup (mm/día)	19
Conductividad capa inf (mm/día)	5
Perdidas subterráneas (mm)	0
Tiempo medio de residencia flujo superficial (días)	4
Tiempo medio de residencia flujo subsuperficial (días)	3
Tiempo medio de residencia flujo base (días)	70
Condiciones iniciales (mm)	
Almacenamiento Capilar	25
Almacenamiento Agua superficial	0
Almacenamiento Gravitacional Z Sup	5
Almacenamiento Gravitacional Z Inf (acuífero)	120

Fuente: Elaboración propia. Proagua, 2018

Los hidrógramas obtenidos durante la fase de calibración del modelo hidrológico TETIS versión agregada, mostrados en la Figura 36, permiten observar un ajuste satisfactorio entre los caudales observados y simulados para cuenca del río Anchique, dentro del periodo de tiempo establecido para este proceso (2007 a 2010); este ajuste se realiza hasta el punto de medición de caudales conocido como estación hidrológica Anchique, la cual se ubica sobre la parte baja de la cuenca, esta estación es operada por el IDEAM actualmente.

Es de resaltar que la estación hidrológica Anchique, presenta muchas fracciones de tiempo sin información de caudal, lo que hizo que se tomara la decisión de acortar la serie de tiempo de calibración y validación, aunque esto no fue impedimento para que el ajuste de los caudales fuera satisfactorio para el periodo de tiempo establecido para este proceso.

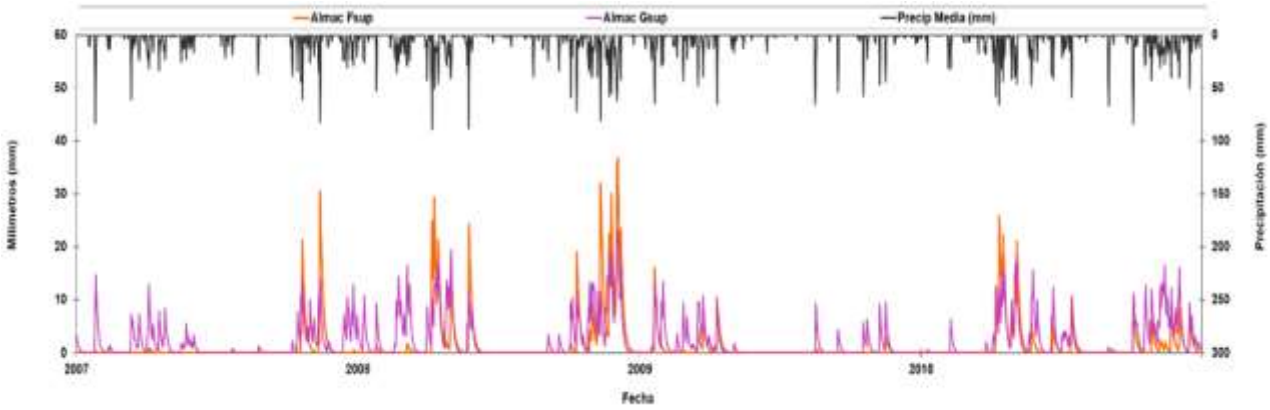
Figura 36. Hidrógramas de calibración de caudales para la estación Anchique, modelo TETIS versión agregada.



Fuente: Elaboración propia. Proagua, 2018

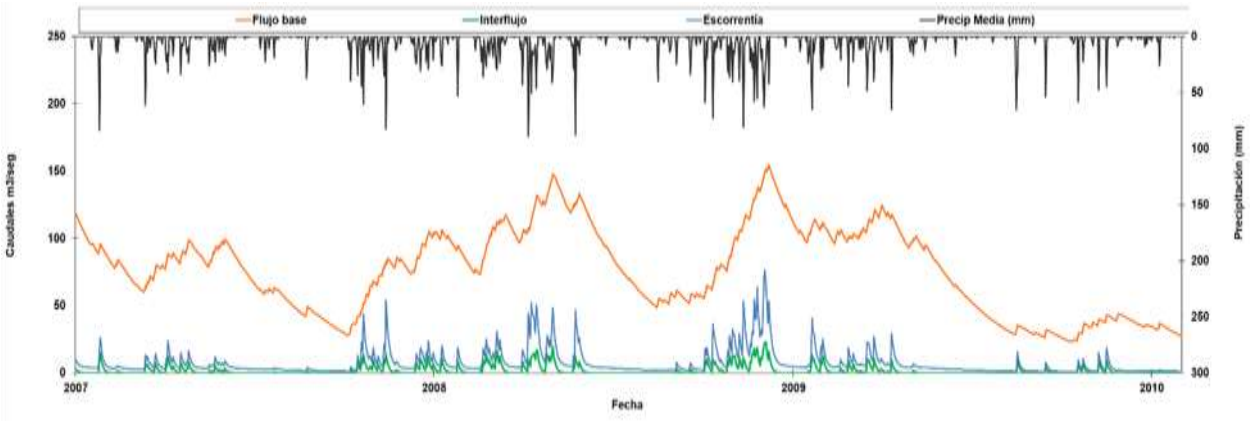
En las Figura 37 y Figura 38, se muestran las gráficas del comportamiento de los flujos internos que representa el modelo como también los almacenamientos en los diferentes tanques; el almacenamiento capilar, flujo superficial, flujo subsuperficial y flujo subterráneo, mostrándose claramente que se tiene las tres salidas de flujo (Escorrentía directa, flujo subsuperficial y flujo base), y se mantiene agua en los tanques del modelo.

Figura 37. Hidrógramas de flujo superficial y gravitación superficial, modelo TETIS versión agregada.



Fuente: Elaboración propia. Proagua, 2018

Figura 38. Hidrógramas de flujo base, interflujo y escorrentía superficial, modelo TETIS versión agregada.



Fuente: Elaboración propia. Proagua, 2018

- ***Calibración río Chenche:***

Tabla 36. Valores estadísticos de calibración del modelo TETIS versión agregada.

Q Med Simulado	**7.901**	**BALANCE**	**RMSE**	**RMSE Min**	**E (NASH)**	**F (Max -1)**	**F (Min 2)**	**F (Med 0)**	**E2 (NASH)**
Q Med Real	**7.855**	**0.58**	**6.85**	**6.87**	**0.006**	**2665390**	**4890**	**171592**	**15.26**
Umbral RMSE	**7.926**								

Fuente: Elaboración propia. Proagua, 2018

Tabla 37. Parámetros de calibración del modelo TETIS versión agregada.

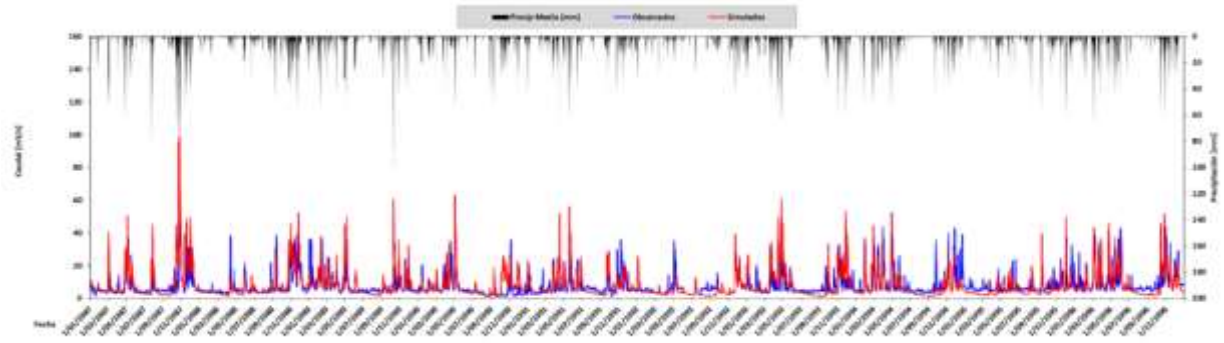
Parámetros de Calibración	
Almacenamiento capilar	86
Conductividad capa sup (mm/día)	18
Conductividad capa inf (mm/día)	5
Perdidas subterráneas (mm)	0
Tiempo medio de residencia flujo superficial (días)	3
Tiempo medio de residencia flujo subsuperficial (días)	4
Tiempo medio de residencia flujo base (días)	65
Condiciones iniciales (mm)	
Almacenamiento Capilar	25
Almacenamiento Agua superficial	0
Almacenamiento Gravitacional Z Sup	5
Almacenamiento Gravitacional Z Inf (acuífero)	120

Fuente: Elaboración propia. Proagua, 2018

Los hidrogramas obtenidos durante la fase de calibración del modelo hidrológico TETIS versión agregada, para la estación hidrométrica Purificación 1, mostrados en la Figura 39, permiten observar un ajuste satisfactorio entre los caudales observados y simulados para cuenca del Rio Chenche, dentro del periodo de tiempo establecido para este proceso (1987 a 1996); este ajuste se realiza hasta el punto de medición de caudales conocido como estación hidrológica Purificación 1, la cual se ubica sobre la parte baja de la cuenca, esta estación es operada por el IDEAM actualmente.

Teniendo en cuenta que la estación hidrológica Purificación 1, presenta una buena consistencia de datos, se pudo ampliar una buena serie de datos para este fin.

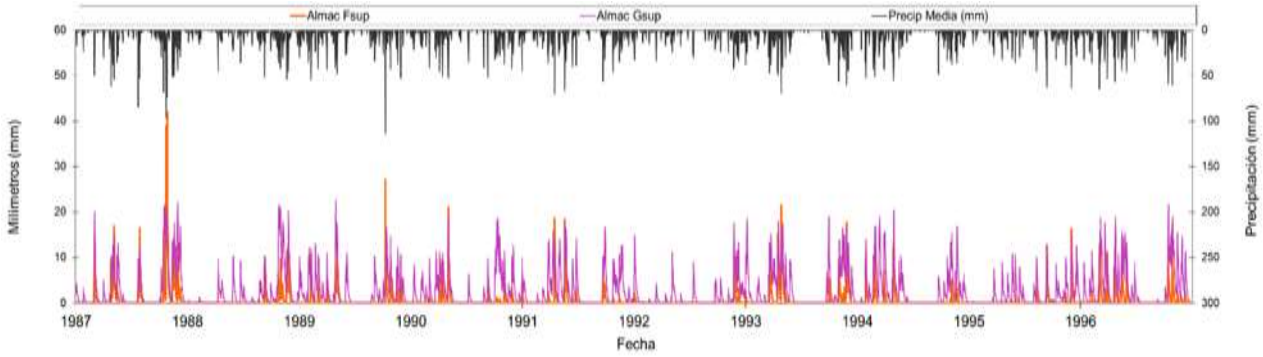
Figura 39. Hidrogramas de calibración de caudales para la estación Anchique, modelo TETIS versión agregada.



Fuente: Elaboración propia. Proagua, 2018

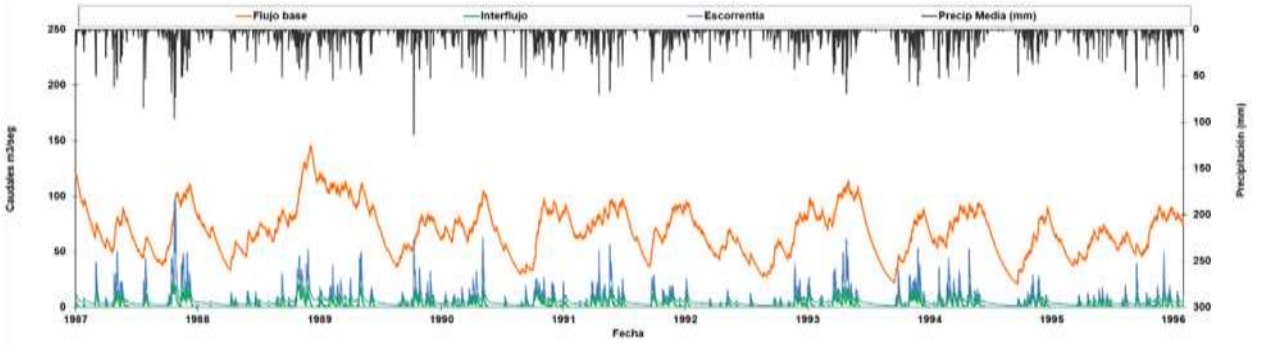
En las Figura 40 y Figura 41, se muestran las gráficas del comportamiento de los flujos internos que representa el modelo y los almacenamientos en los diferentes tanques. Almacenamiento capilar, flujo superficial, flujo sub-superficial y flujo subterráneo, mostrándose claramente que se tiene las tres salidas de flujo (Escorrentía directa, flujo sub-superficial y flujo base), y se mantiene agua en los tanques del modelo.

Figura 40. Hidrogramas de flujo superficial y gravitación superficial, modelo TETIS versión agregada.



Fuente: Elaboración propia. Proagua, 2018

Figura 41. Hidrogramas de flujo base, interflujo y escorrentía superficial, modelo TETIS versión agregada.



Fuente: Elaboración propia. Proagua, 2018

- ***Validación del modelo Hidrológico de tanques – TETIS versión agregada.***

La validación de un modelo hidrológico, es la fase en donde, los parámetros hallados en el proceso de calibración, son empleados para comparar la respuesta teórica y física de una cuenca. Para la validación de un modelo es importante que la serie de datos observados, sea mayor a la serie de datos utilizada en el proceso de calibración, esto permite inferir que los parámetros establecidos en la etapa de calibración del modelo hidrológico, responden de manera adecuada.

Para el proceso de validación del modelo hidrológico para los ríos Anchique y Chenche, se tuvieron en cuenta dos periodos de tiempo; Para la validación del río Anchique y teniendo en cuenta que la serie de datos de la estación hidrológica Anchique es muy corta, se tuvo en cuenta un periodo de tiempo de 5 años (2011 a 2015) y para la cuenca del río Chenche un periodo de tiempo más amplio, 19 años (1997 a 2015), esto en atención a que la estación hidrológica Purificación 1, cuenta con una serie más amplia.

Los parámetros hallados en el proceso de calibración fueron utilizados en la etapa de validación, mostrándose con ello una validación de caudales adecuada para las cuencas de los ríos Anchique y Chenche, representando de manera óptima el fenómeno lluvia y escorrentía en los periodos de tiempo seleccionados 5 y 19 años respectivamente. Por lo tanto, fenómenos de sequias y lluvias en las cuencas se encuentran representados de buena manera en este horizonte de tiempo seleccionados.

- ***Validación río Anchice:***

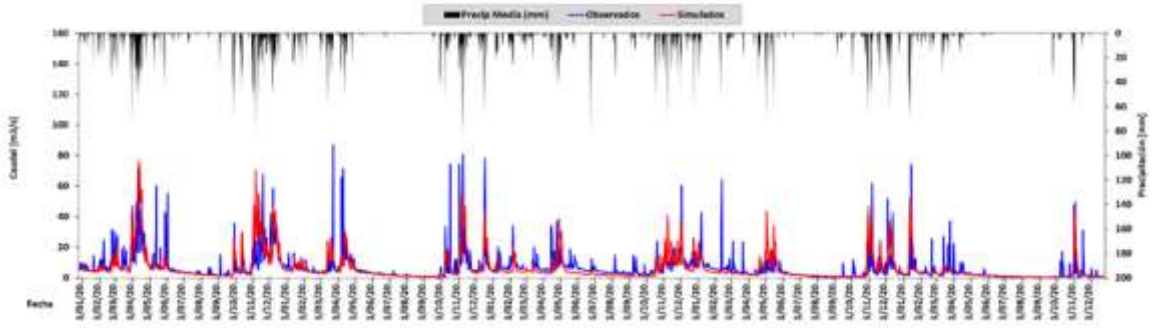
Tabla 38. Valores estadísticos de validación del modelo TETIS versión agregada.

Q Med Simulado	**6.152**	**BALANCE**	**RMSE**	**RMSE Min**	**E1 (NASH)**	**F (Max - 1)**	**F (Min 2)**	**F (Med 0)**	**E2 (NASH)**
Q Med Real	**6.481**	**5.08**	**8.20**	**9.06**	**0.180**	**4191068**	**3583**	**121656**	**47.00**
Umbral RMSE	**6.578**								

Fuente: Elaboración propia. Proagua, 2018

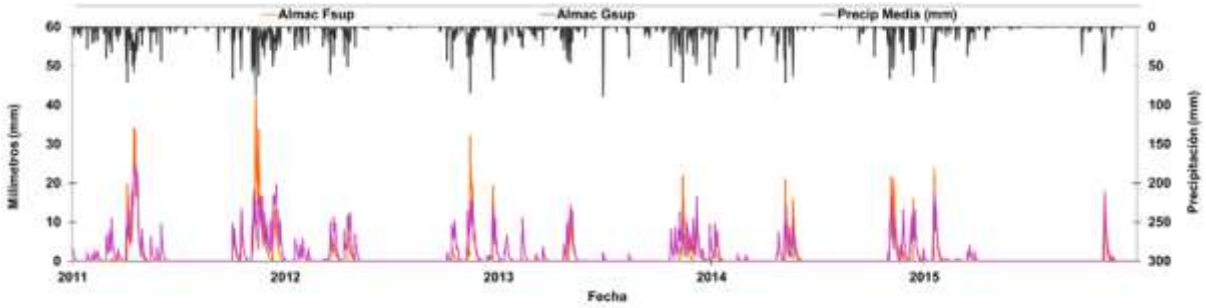
Con la calibración del modelo hidrológico TETIS versión agregada, se dio inicio al proceso de validación de los parámetros de calibración para la estación hidrológica Anchique; con este ejercicio se busca evidenciar el ajuste que presentan los caudales simulados y observados que registro la estación hidrológica Anchique, con esto también se puede identificar que los parámetros hallados en el proceso de calibración si corresponden y si representan en alguna manera las condiciones físicas de la cuenca.

Figura 42. Hidrogramas de validación de caudales para la estación Anchique, modelo TETIS versión agregada.



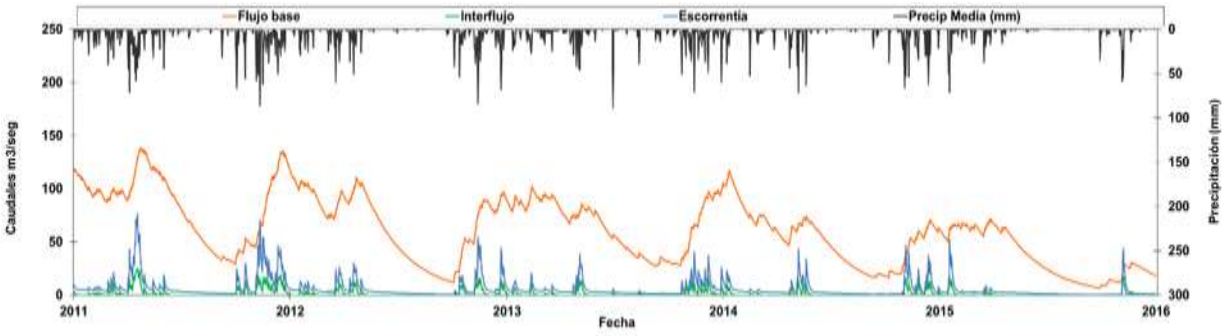
Fuente: Elaboración propia. Proagua, 2018

Figura 43. Hidrogramas de flujo superficial y gravitación superficial, modelo TETIS versión agregada.



Fuente: Elaboración propia. Proagua, 2018

Figura 44. Hidrogramas de flujo base, interflujo y escorrentía superficial, modelo TETIS versión agregada.



Fuente: Elaboración propia. Proagua, 2018

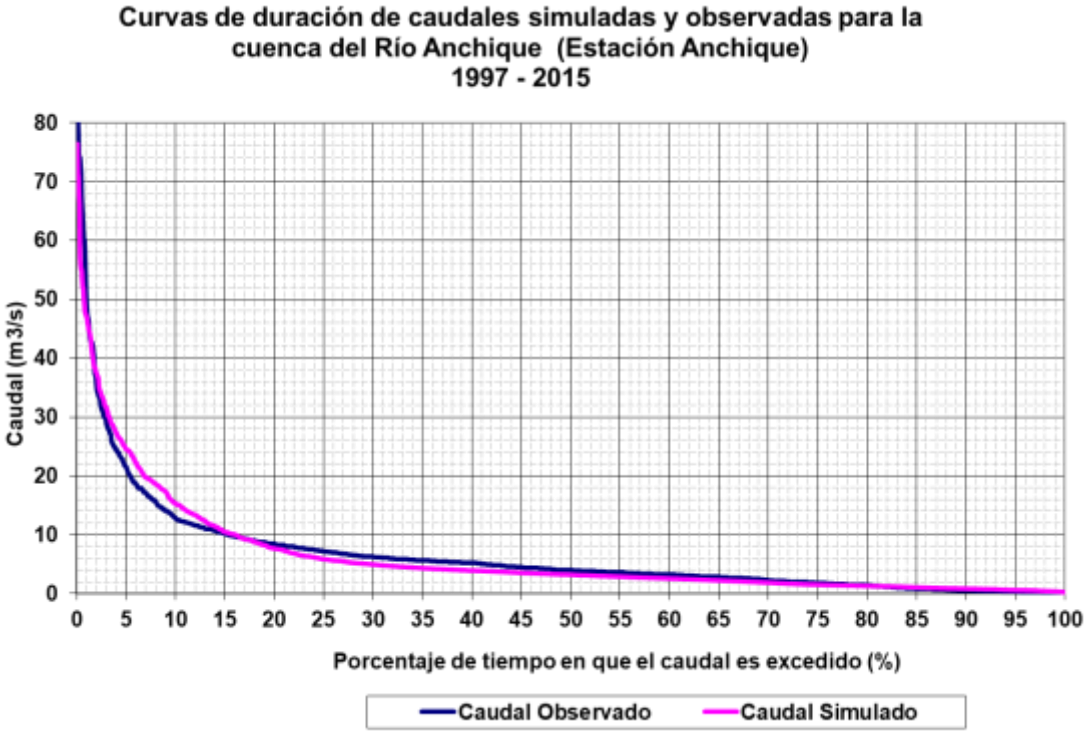
En las Figura 43 y Figura 44, se muestran las gráficas del comportamiento de los flujos internos que representa el modelo una vez validado el mismo; como se observó en la fase de calibración el flujo base nunca decae, aunque se presenten periodos secos en la zona.

Nuevamente se permito con estos resultados se puede decir, que el cauce del río Anchique permanece con flujo superficial hasta en periodos más secos.

Por otro lado, y teniendo en cuenta el tipo de suelo presente en la zona y la baja vegetación existente, en la Figura 43, se observa en los periodos de baja lluvia el almacenamiento gravitacional superficial (Capa superior), presenta se pierde en su totalidad de tal manera la capa de suelo superficial queda sin humedad que pueda en algunos momentos sostener las plantas de poco sistema radicular.

En la Figura 45 se presenta la curva de duración de caudales observado y simulado a partir de la serie de datos modelada con el modelo TETIS versión agregada, en ella se observa que las dos curvas presentan un buen ajuste especialmente en los periodos secos, los cuales se ubican frecuentemente por debajo del 50% del tiempo; esto indica que el modelo está respondiendo de manera adecuada con la serie de tiempo utilizada de la estación Anchique IDEAM.

Figura 45. Curva de duración de caudales Estación Anchique.



Fuente: Elaboración propia. Proagua, 2018

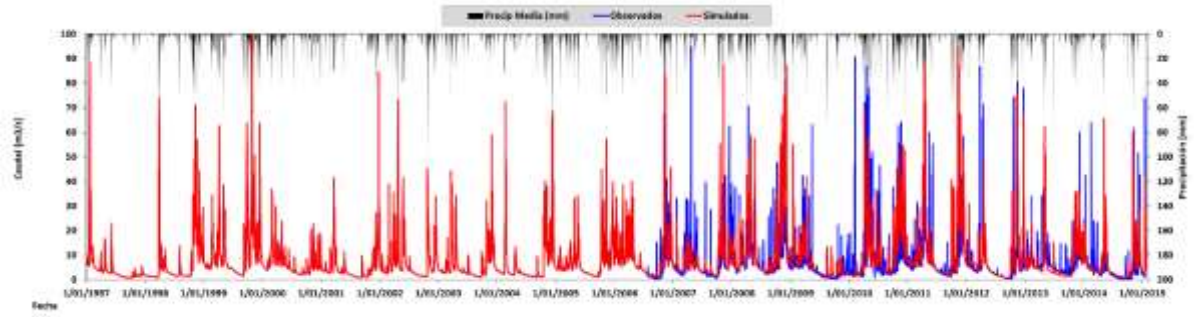
- ***Validación río Chenche***

Tabla 39. Valores estadísticos de validación del modelo TETIS versión agregada.

Q Med Simulado	**8.111**	**BALANCE**	**RMSE**	**RMSE Min**	**E (NASH)**	**F (Max - 1)**	**F (Min 2)**	**F (Med 0)**	**E2 (NASH)**
Q Med Real	**7.369**	**10.06**	**7.25**	**9.79**	**0.451**	**10669149**	**11096**	**364504**	**67.17**
Umbral RMSE	**7.508**								

Fuente: Elaboración propia. Proagua, 2018

Figura 46. Hidrogramas de validación de caudales para la estación Purificación 1, modelo TETIS versión agregada.

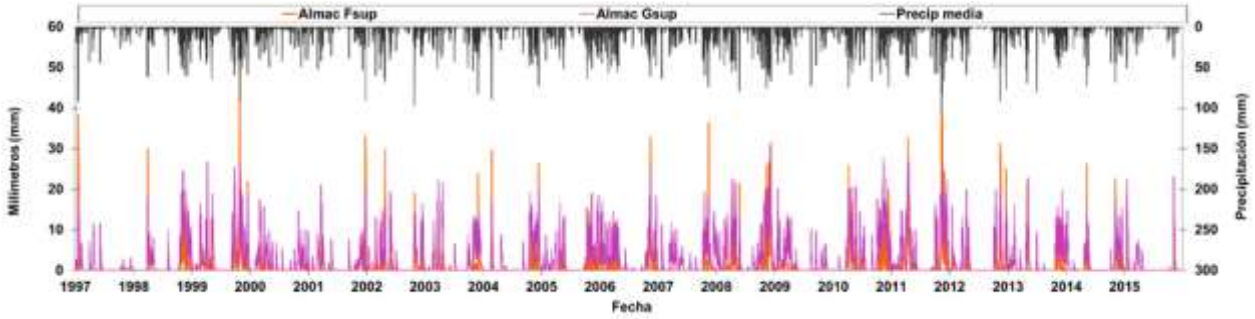


Fuente: Elaboración propia. Proagua, 2018

De la Figura 46, en donde se observan los hidrogramas de simulación hidrológica de los caudales observados y simulados para la estación hidrológica purificación 1, se destaca que el modelo realizo el relleno de los datos faltantes de caudal entre los años 1997 al 2006, este procedimiento se pudo lograr debido a que dentro del proceso de calibración de caudales de la misma estación el ajuste de los parámetros presento una buna aceptación.

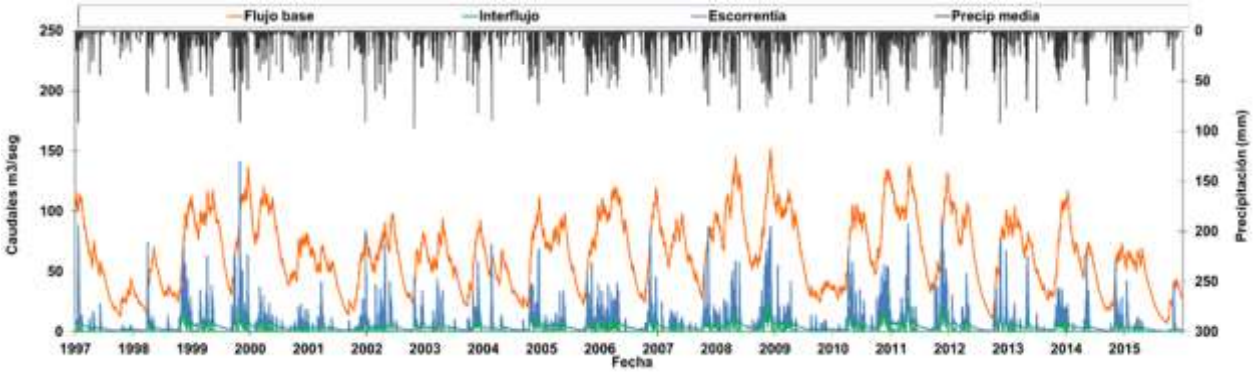
En la presente simulación se puede observar que la serie de datos analizada muestra caudales instantáneos de gran consideración, producto al parecer de otros aportes al momento de generar un aguacero, por ejemplo, aguas de irrigación de cultivos, las cuales al momento de presentarse lluvias en la zona son descargadas al cauce del río de manera directa, aumentando con ello los caudales que discurren por este cuerpo de agua.

Figura 47. Hidrogramas de flujo superficial y gravitación superficial, modelo TETIS versión agregada



Fuente: Elaboración propia. Proagua, 2018

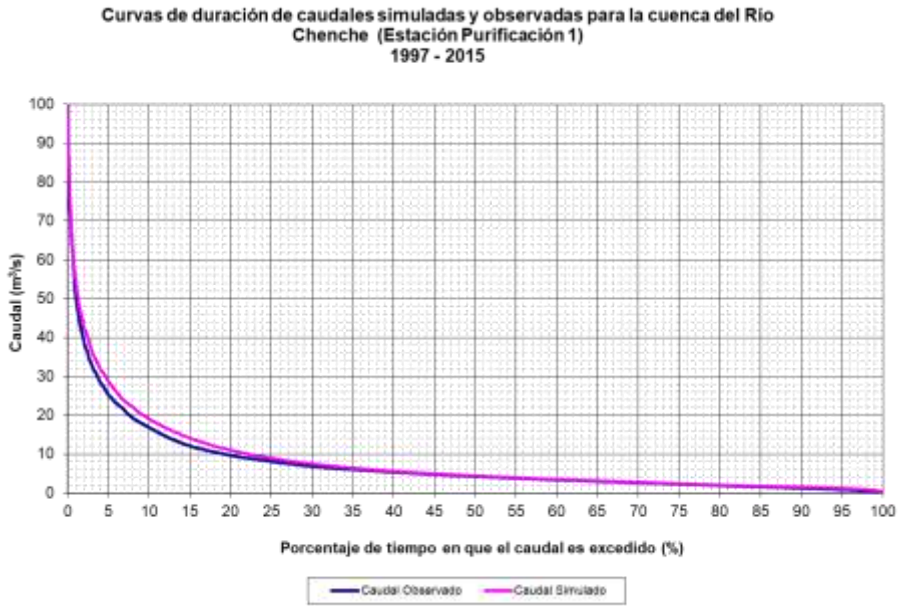
Figura 48. Hidrogramas de flujo base, interflujo y escorrentía superficial, modelo TETIS versión agregada.



Fuente: Elaboración propia. Proagua, 2018

En las Figura 47 y Figura 48, se muestran las gráficas del comportamiento de los flujos internos que representa el modelo una vez validado el mismo; en las mismas se observa que el almacenamiento gravitación, es importante mencionar que de las mismas se puede identificar que la cuenca en lo que corresponde al periodo de tiempo simulado, nunca perdió flujo superficial, lo cual indica que los flujos internos tampoco desaparecieron y presentaron respuesta optima a la lluvia caída en la zona.

Figura 49. Curva de duración de caudales Estación Anchique.



Fuente: Elaboración propia. Proagua, 2018

En la Figura 49 se presenta la curva de duración de caudales observado y simulado a partir de la serie de datos modelada con el modelo TETIS versión agregada, en ella se observa que las dos curvas presentan un buen ajuste especialmente en los periodos secos, los cuales se ubican frecuentemente por debajo del 50% del tiempo; esto indica que el modelo está respondiendo de manera adecuada con la serie de tiempo utilizada de la estación Anchique IDEAM.

A partir de los parámetros de calibración del río Chenche, cuenca que posee la mayor área, se realizó la construcción de la serie de caudales para las cuencas de las quebradas Hilarco y Guaguarco, esto en razón a que estas dos fuentes de agua no poseen estación hidrométrica, como también que la geología, geomorfología y régimen hidrológico es muy similar a la zona en donde se ubica la cuenca del río Chenche; para esta actividad se utilizó el modelo TETIS versión agregada y las siguientes estaciones:

Tabla 40. Estaciones utilizadas para la fase de validación quebrada Hilarco y Guaguarco.

Estaciones de precipitación			
CUENCA	***ESTACION***	***AREA DE INFLUENCIA POR ESTACION***	***%***
Hilarco	Hda. Colache	5792.97	44.07
	Jabalcón	4299.2	32.70
	Pst de Monta	1903.57	14.48
	Tinajas	492.79	3.75

	Anchique	657.82	5.00
Area Total Cuenca		***13146.35***	***100.00***
Guaguarco	Hda. Colache	4378.17	32.15
	Anchique	8525.79	62.61
	Tinajas	713.17	5.24
Área Total Cuenca		***13617.13***	***100.00***
Estaciones de Temperatura			
CUENCA	***ESTACION***	***AREA DE INFLUENCIA POR ESTACION***	***%***
Hilarco	Est. Jabalcón	131.46	100.00
Guaguarco	Est. Anchique	136.17	100.00

Fuente: Elaboración propia. Proagua, 2018

- ***Validación Quebrada Hilarco:***

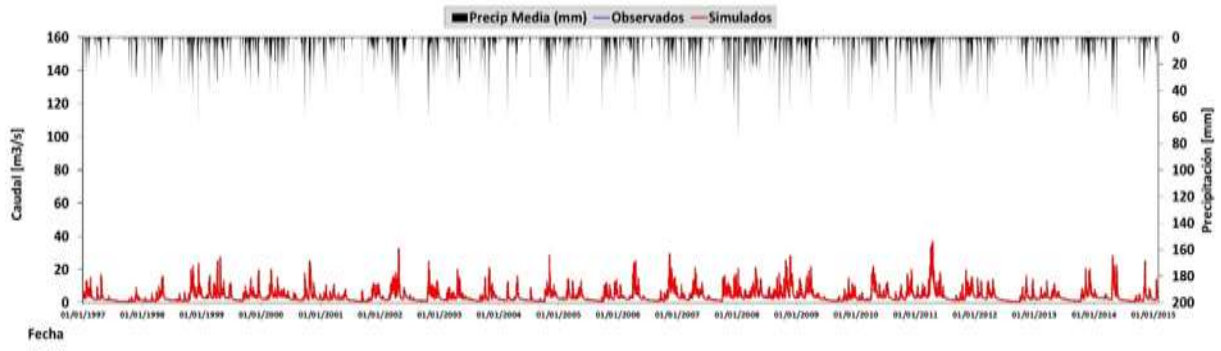
Tabla 41. Valores estadísticos de validación del modelo TETIS versión agregada.

Q Med Simulado	**4.022**
Q Med Real	**4.022**
Umbral RMSE	**4.151**

Fuente: Elaboración propia. Proagua, 2018

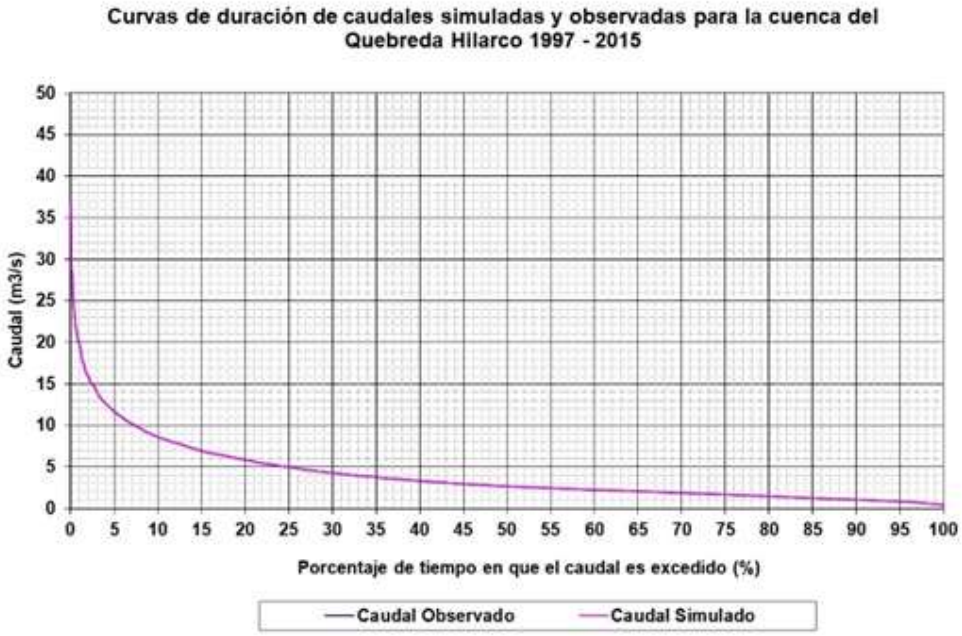
Una vez calibrado y validado el modelo en versión agregada TETIS, para la cuenca del río Chenche, se realizó la construcción de los caudales para la cuenca de la Quebrada Hilarco, a partir de información climática de la zona (Precipitación y temperatura). Es de resaltar que los parámetros utilizados para este fin, fueron los hallados en el proceso de calibración de caudales del río Chenche.

Figura 50. Hidrogramas de validación de caudales para la estación Purificación 1, modelo TETIS versión agregada.



Fuente: Elaboración propia. Proagua, 2018

Figura 51. Curva de duración de caudales Estación Anchique.



Fuente: Elaboración propia. Proagua, 2018

- ***Validación Quebrada Guaguarco:***

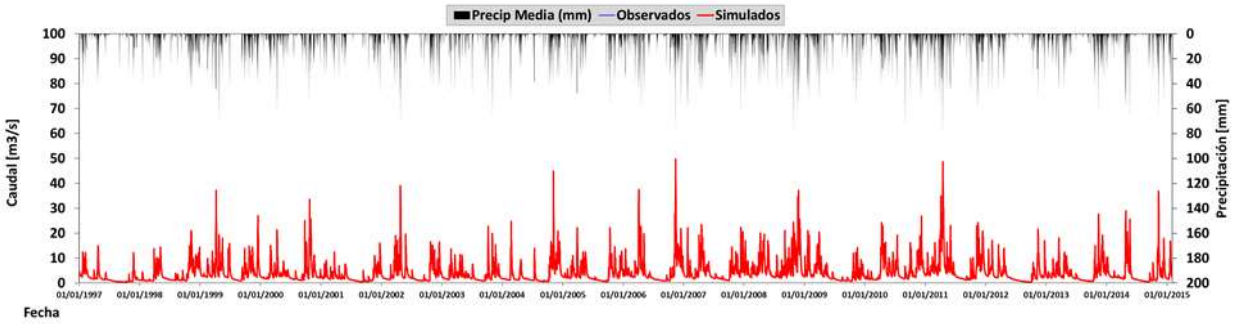
Tabla 42. Valores estadísticos de validación del modelo TETIS versión agregada.

Q Med Simulado	**4,195**
Q Med Real	**4,195**
Umbral RMSE	**4,334**

Fuente: Elaboración propia. Proagua, 2018

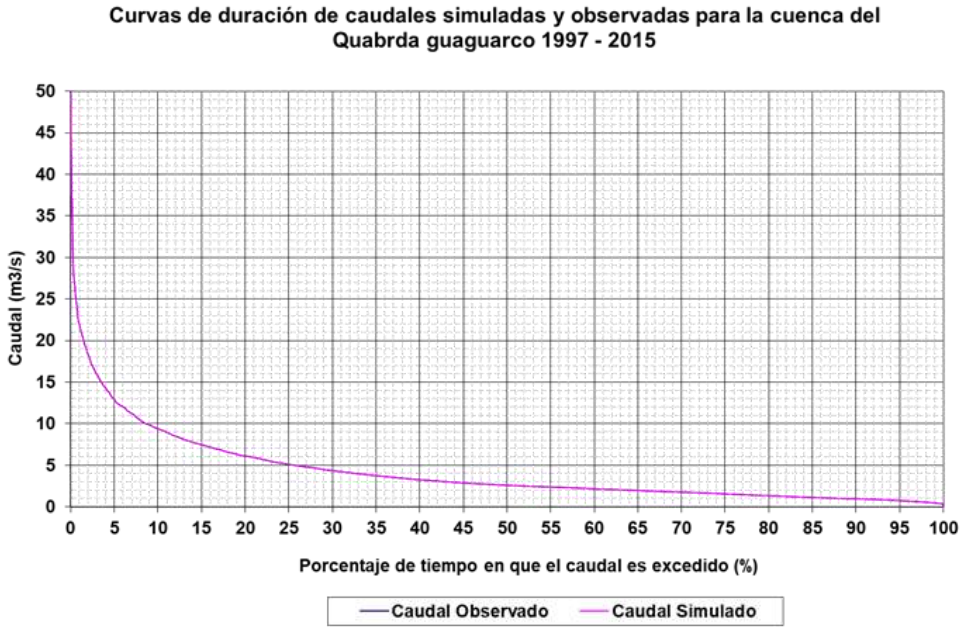
Al igual que lo realizado con la construcción de caudales para la Quebrada Hilarco, una vez calibrado y validado el modelo en versión agregada TETIS, para la cuenca del río Chenche, se realizó la construcción de los caudales para la cuenca de la Quebrada Guaguarco, a partir de información climática de la zona (Precipitación y temperatura). Es de resaltar que los parámetros utilizados para este fin, fueron los hallados en el proceso de calibración de caudales del río Chenche.

Figura 52. Hidrogramas de validación de caudales para la estación Purificación 1, modelo TETIS versión agregada.



Fuente: Elaboración propia. Proagua, 2018

Figura 53. Curva de duración de caudales Estación Anchique.



Fuente: Elaboración propia. Proagua, 2018

10 DIAGNOSTICO GENERAL DEL AREA FORMULADO POR ACTORES SOCIALES

10.1 Identificación de actores

En relación a la identificación de actores y sectores en el marco del Plan de Manejo Ambiental del Acuífero del Sur del Tolima; es importante precisar que los actores relacionados a continuación, se tiene que el Ministerio de Ambiente, la Corporación Autónoma Regional del Tolima – CORTOLIMA, la Gobernación del Tolima y las Alcaldías Municipales área de influencia del Acuífero quienes actual como actor que gestionan el recurso hídrico subterráneo a nivel Nacional, Regional y Local, los demás actores mencionados actúan en propiedad de demandantes o beneficiarios principalmente, sin embargo se encuentran unos actores que trabajan por la protección y conservación del recurso hídrico.

El objetivo fue reconocer las principales funciones de los actores sociales e institucionales, así como identificar las posibles acciones que podrían desarrollar los actores sociales e institucionales perfilando una red de alianzas interinstitucionales en relación con la propuesta de intervención (Tabla 109).

Tabla 43. Identificación de funciones y roles de cada actor.

Actor	Competencias – funciones	Capacidad institucional (Recursos)
Ministerio de ambiente y desarrollo Sostenible	Órgano rector de la gestión del medio ambiente y de los recursos naturales renovables, encargado de definir las políticas y regulaciones a las que se sujetarán la recuperación, conservación, protección, ordenamiento, manejo, uso y aprovechamiento de los recursos naturales renovables y el medio ambiente de la Nación.	Financieros, técnicos, humanos
Ministerio de agricultura	Fformular las políticas para el desarrollo del Sector Agropecuario, Pesquero y de Desarrollo Rural. Orientar y dirigir la formulación de los planes, programas y proyectos que requiere el desarrollo del sector Agropecuario, Pesquero y de Desarrollo Rural, y en general de las áreas rurales del país	Financieros, técnicos, humanos
Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM	Encargado del levantamiento y manejo de la información científica y técnica sobre los ecosistemas que forman parte del patrimonio ambiental del país, así como de establecer las bases técnicas para clasificar y zonificar el uso del territorio nacional para los fines de la planificación y el ordenamiento del territorio	Técnicos, humanos, científicos

Tabla 37. Identificación de funciones y roles de cada actor. (Continuación).

Actor	Competencias – funciones	Capacidad institucional (Recursos)
Servicio Geológico Colombiano – SGC	Tiene como función la investigación científica básica y aplicada del potencial de recursos del subsuelo; adelantar el seguimiento y monitoreo de amenazas de origen geológico; administrar la información del subsuelo; garantizar la gestión segura de los materiales nucleares y radiactivos en el país; coordinar proyectos de investigación nuclear y el manejo y la utilización del reactor nuclear de la Nación.	Técnicos, Científicos humanos
Gobernación del Tolima	Tienen a su cargo funciones de promoción y ejecución de programas y políticas ambientales, la expedición de disposiciones necesarias para el control, la preservación y la defensa del patrimonio ecológico de sus territorios, la dirección y coordinación de las actividades de control y vigilancia ambiental, y la promoción, cofinanciación y ejecución de obras y proyectos relacionados con el adecuado manejo y aprovechamiento de las cuencas hidrográficas.	Financieros, Técnicos, Humanos
Corporación Autónoma Regional CORTOLIMA	La Corporación Autónoma Regional del Tolima es un ente corporativo descentralizado, relacionado con el nivel nacional, departamental y municipal que cumple una función administrativa del Estado; es de carácter público, creado por la Ley 10 de 1981, modificado por la Ley 99 de 1993, dotado de autonomía administrativa y financiera, patrimonio propio y personería jurídica, encargado por la ley de administrar dentro del Área de su jurisdicción, el medio ambiente y los recursos naturales renovables y propender por su desarrollo sostenible, de conformidad con las disposiciones legales y las políticas del Ministerio del Medio Ambiente (Cortolima, 2016). CORTOLIMA, como máxima autoridad ambiental del departamento del Tolima, fundamenta su actuar en los valores éticos de su talento humano y trabaja en armonía con todos los actores sociales, dando cumplida y oportuna aplicación a la normatividad legal sobre disposición, administración, manejo y aprovechamiento de los recursos naturales y del medio ambiente (Cortolima, 2016). La Corporación Autónoma Regional del Tolima, CORTOLIMA, se proyecta para el año 2023, líder como autoridad ambiental a nivel regional y nacional en administración y manejo de los recursos naturales propendiendo por un Desarrollo Sostenible, con la participación activa de su talento humano y de la comunidad, en cumplimiento de las políticas ambientales establecidas para garantizar un ambiente sano a las futuras generaciones (Cortolima, 2016).	Financieros, técnicos, humanos

Tabla 37. Identificación de funciones y roles de cada actor. (Continuación).

Actor	Competencias – funciones	Capacidad institucional (Recursos)
Alcaldías Municipales de (Purificación, Coyaima, Ortega, Natagaima, Prado, Saldaña, Guamo, San Luis y Suárez)	Las alcaldías municipales en general se estructuran en secretarias con dirección directa del Alcalde. Dentro de las Secretarías de Interés y con injerencia en la Gestión de los Recursos Hídricos se encuentran las secretarias de planeación, por ser las encargadas de dar las recomendaciones sobre el desarrollo físico, económico, social, cultural, administrativo y ambiental de cara a la formulación y elaboración de planes y proyectos. Como dependencias de interés también se encuentran la Unidad Municipal de Asistencia Técnica Agropecuaria (UMATA), creadas bajo el Decreto 1929 de 1994, art. 5, que presta asistencia técnica rural y urbana para productores agrícolas, pecuarios, forestales y pesqueros.	Financieros , Técnicos, humanos
Autoridades Sanitarias y Prestadores del Servicio de Acueducto de los municipios (Purificación, Coyaima, Ortega, Natagaima, Prado, Saldaña, Guamo, San Luis y Suárez)	Reglamentar todos los aspectos concernientes a la definición de las características físicas, químicas y microbiológicas del agua para el consumo humano. Diseñar los modelos conceptuales, técnicos y operativos y de protocolos que sean requeridos para el control y vigilancia para garantizar la calidad del agua para consumo humano. Diseñar la guía de criterios y actividades mínimas que deben contener los estudios de riesgo, programas de reducción de riesgos y los planes de contingencia.	Técnicos, Humanos
Concejos Municipales de los municipios (Purificación, Coyaima, Ortega, Natagaima, Prado, Saldaña, Guamo, San Luis y Suárez)	Fiscalizar: La gestión del alcalde, especialmente para verificar que los actos municipales se hayan ajustado a las políticas, normas y acuerdos adoptados por el concejo. El cumplimiento de los planes y programas de inversión municipal. La ejecución del presupuesto.	Humano
Policía	Velar por el cumplimiento de las Leyes y disposiciones generales, ejecutando las órdenes que reciban de las Autoridades, en el ámbito de sus respectivas competencias. Auxiliar y proteger a las personas y asegurar la conservación y custodia de los bienes que se encuentren en situación de peligro por cualquier causa.	Técnicos, humano
Agencia de Desarrollo Rural ADR – GENCIA Nacional de Tierras ANT y Agencia de Renovación del Territorio ART	Ejecutaran las políticas que formule el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural.	Financieros, Técnicos, Humanos
Cámara de Comercio	Es una organización formada por empresarios o dueños de pequeños, medianos o grandes comercios con el fin de elevar la productividad, empleados y competitividad de sus negocios.	Humano

Tabla 37. Identificación de funciones y roles de cada actor. (Continuación).

Actor	Competencias – funciones	Capacidad institucional (Recursos)
Servicio Nacional de Aprendizaje SENA	Es una institución pública colombiana encargada de dar programas de formación complementaria y titulada. Con lo anterior, se busca la capacitación técnica del recurso humano; forma personas para vincularlas al mercado laboral y realiza actividades de desarrollo empresarial,	Técnicos , humanos
Iglesias (Diferentes Congregaciones)	Evangelizar, y apoyar procesos de concertación en la mitigación de la violencia en diferentes aspectos, entre estos está el humano y medio ambiente	Humano
Instituto Colombiana de Bienestar Familiar ICBF	Trabaja por la prevención y protección integral de la primera infancia, la niñez, la adolescencia y el bienestar de las familias en Colombia, brindando atención especialmente a aquellos en condiciones de amenaza,	Financiero, Técnico, Humano
Banco Agrario	Entidad orientada principalmente al financiamiento de actividades relacionadas con el sector rural, agrícola, pecuario, pesquero, forestal y agroindustrial, a las que debe dirigir no menos del 70% de su cartera.	Financiero, Técnico y Humano
Instituciones Educativas del orden local de los municipios de (Purificación, Coyaima, Ortega, Natagaima, Prado, Saldaña, Guamo, San Luis y Suárez)	Su función es conservar y transmitir las verdades sistemáticas y morales que son tan esenciales para el progreso de la sociedad, porque al final el objetivo de enseñar no es meramente solo el de comunicar conocimiento a quienes carecen de este, sino que el aprendiz se adueñe del conocimiento.	Técnico y Humano
Hospitales ESE	Empresas prestadores de servicios de salud de I – II Y III nivel de atención.	Técnico y Humano
Personerías de los municipios (Purificación, Coyaima, Ortega, Natagaima, Prado, Saldaña, Guamo, San Luis y Suárez)	Son las encargadas de ejercer el control administrativo en el municipio.	Técnico
Pijaos Salud EPS Indígena	Institución prestadora de servicios de salud a las comunidades Indígenas.	Técnico y humano
Asmet Salud EPS	Prestadora de servicios de salud del régimen subsidiado.	Técnico y Humano
Nueva EPS	Prestadora de servicios de salud del régimen contributivo.	Técnico y Humano
Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria CORPOICA	Desarrollar y ejecutar actividades de Investigación, Tecnología y transferir procesos de Innovación tecnológica al sector.	Financiero, Técnico y Humano
Petrolera Hocol	Producción de hidrocarburo y productora de crudo y gas en Colombia.	Financiero, humano

Tabla 37. Identificación de funciones y roles de cada actor. (Continuación).

Actor	Competencias – funciones	Capacidad institucional (Recursos)
Hidroprado	Central hidroeléctrica del Tolima y destino turístico en la región.	Financieros
TV por cable Colcable Ibagué	Empresa prestadora del servicio de televisión por cable en los municipios del sur del Tolima	Humano
Banco Mundo Mujer	Empresa financiera del Tolima	Financiero , técnico
Enertolima	Empresa administradora de energía eléctrica	Financiero, Técnico y humano
Instituto Tolimense de Formación Técnica Profesional ITFTP	Institución Universitaria, reconocida por su capacidad investigativa y su formación académica de calidad altamente competitiva en el campo de la técnica, la tecnología, la ciencia, las humanidades, el arte y la filosofía para el desarrollo del Departamento del Tolima	Técnico, humano
Universidad del Tolima	Ente universitario autónomo, de carácter estatal u oficial, del orden departamental.	Técnicos, humanos
Universidad Cooperativa	Ente universitario de carácter privado.	Técnicos, humanos
Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD	Ente universitario de carácter oficial.	Técnico humano
FAO	La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, mundialmente conocida como FAO, es un organismo especializado de la ONU que dirige las actividades internacionales encaminadas a erradicar el hambre.	Financiero, Técnicos, humanos
OIM	La Organización Internacional para las Migraciones es una organización intergubernamental fundada en 1951 y que se ocupa de la problemática de las migraciones. Con sede en Ginebra, cuenta con oficinas locales en más de 100 países.	Financiero, Técnicos, humanos
PNUD	El Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, se creó mediante la fusión del Programa Ampliado de Asistencia Técnica de las Naciones Unidas, creado en 1949, y el Fondo Especial de las Naciones Unidas, establecido en 1958	Financiero, Técnicos, humanos
ACHNUR	El Alto Comisionado de las Naciones Unidas para los Refugiados es el organismo de las Naciones Unidas encargado de proteger a los refugiados y desplazados por persecuciones o conflictos, y promover	Financiero, Técnicos, humanos
Usocoello Distrito de Riego de Coello y Saldaña	Administrar el recurso hídrico del distrito de riego y funciones de operación, conservación y mantenimiento de todas las obras del Distrito de Riego	Técnica y humano
Fedearroz	Asociación de carácter gremial y nacional, compuesta por los productores de arroz que se afilian a ella. Trabaja por la defensa y representación de los agricultores arroceros promoviendo su desarrollo tecnológico, buscando su eficiencia económica y mayor competitividad.	Financiera, técnica y humano

Tabla 37. Identificación de funciones y roles de cada actor. (Continuación).

Actor	Competencias – funciones	Capacidad institucional (Recursos)
Comité de Ganaderos	Representa a los ganaderos de la zona de influencia, buscando defender el interés colectivo que permita el crecimiento, desarrollo y sostenibilidad de la producción láctea en nuestra área de influencia.	Técnicos, financieros y humanos
Distrito de Riego del Triángulo del Tolima	Proyecto que benefician a las comunidades de los municipios de Coyaima, Natagaima y Purificación	Con el proyecto se beneficiarán mil 995 personas que desarrollan actividades económicas. Además, los habitantes contarán con 20 mil 402 hectáreas, que mejorarán su calidad de vida, al brindar mayor espacio y mejores resultados en cultivos tradicionales de la zona como plátano cachaco y otros productos.
Juntas de Acción Comunal década una de las veredas área de influencia de los municipios de (Purificación, Coyaima, Ortega, Natagaima, Prado, Saldaña, Guamo, San Luis y Suárez)	Son organizaciones civiles que propenden a la participación ciudadana en el manejo de sus comunidades. A la vez, sirven como medio de interlocución con los gobiernos nacional, departamental y municipal.	Humanos
Gobernadores Indígenas de las comunidades área de influencia del proyecto en los municipios de (Purificación, Coyaima, Ortega, Natagaima, Prado, Saldaña, Guamo, San Luis y Suárez)	autoridades tradicionales como los miembros de una comunidad indígena que ejercen, dentro de la estructura propia de la respectiva cultura, un poder de organización, gobierno, gestión o control social	Humanos
Emisora CRIT 98.0 de Ortega Tolima	Empresa de comunicaciones de las comunidades Indígenas	Técnico y humano
CRIT	Concejo Regional Indígena del Tolima	humano
ACIT	Asociación de Cabildos Indígenas del Tolima	Humano
FICAT	Federación Regional Indígena del Tolima	humano
ARIT	Asociación de Resguardos Indígena en el Tolima	humano
Presidentes de Junta Administradora de Acueducto veredales de los municipios área de influencia del proyecto (Purificación, Coyaima, Ortega, Natagaima, Prado, Saldaña, Guamo, San Luis y Suárez)	Es el representante de una organización que vela por el buen manejo del recurso hídrico	Técnico y humano

Fuente: Elaboración propia. Proagua, 2018.

10.1.1 Aliados Estratégicos

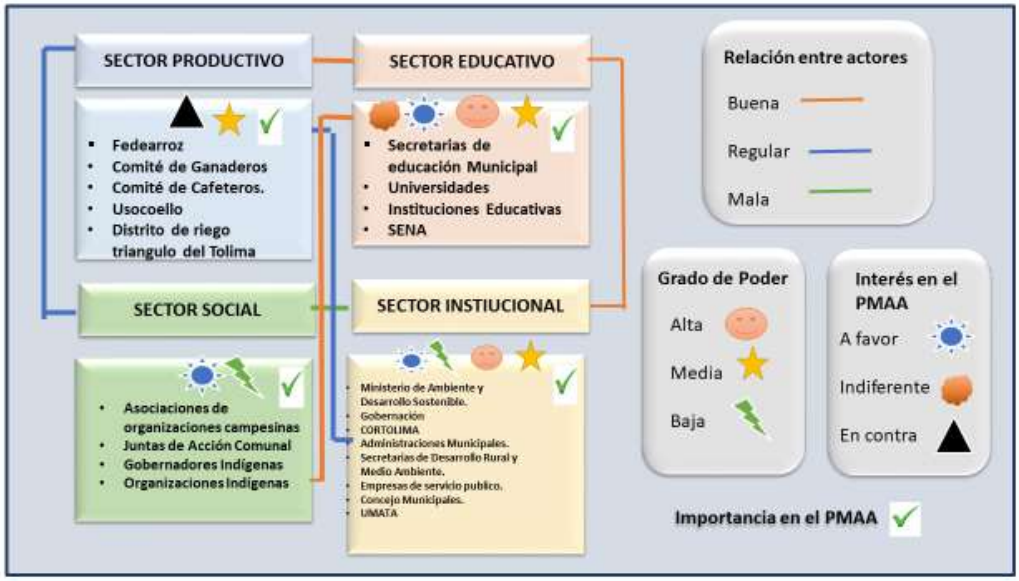
Actores objetivo- Aliados: Como aliados estratégicos se contemplan las comunidades, los entes territoriales y el sector privado, a fin de crear sinergias en conjunto y trabajar hacia el empoderamiento, autogestión y un cambio de actitud en proyección al manejo sostenible del recurso hídrico. Estos actores deben ser empoderados respecto a las iniciativas de conservación y uso sostenible del agua, para que tomen decisiones y generen acuerdos de manejo sostenible del recurso hídrico, trabajo que debe ir focalizado hacia la autogestión, es decir hacia el logro de una verdadera participación comunitaria y empoderamiento.

10.1.2 Actores Enlace

Son actores de gran interés en el desarrollo del proyecto, que las comunidades identifican como potenciales de articulación, hacen la diferencia porque facilitan la gestión, el diseño de estrategias y ofrecen apoyo para dejar capacidad instalada entre los otros actores de los territorios, dentro del trabajo realizado se identificaron como actores de enlace: CORTOLIMA, Gobernación del Tolima, Universidad del Tolima, Hocol, Fundes, Emposaldaña, Comité de ganaderos.

Es importante tener presente que la identificación del tipo de relaciones que existen entre los Actores Sociales aporta a la determinación de la estrategia de manejo ambiental del acuífero, esta relación se encuentra plasmada en la Figura 54.

Figura 54. Mapeo de actores realizado en la fase de aprestamiento del Proyecto Acuífero Sur del Tolima.



Fuente: Elaboración propia. Proagua, 2018.

La clasificación de los actores identificados por ámbito de acción y sectores, se ve reflejado en las Tabla 110Tabla 111Tabla 112Tabla 113**.**

Tabla 44. Clasificación de Actores Institucionales

CLASIFICACIÓN	ÁMBITO	ACTOR IDENTIFICADO
Publicas	**Nacional**	1.Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible - MADS 2.Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural – MADR. 3.Ministerio del Interior. 4.Agencia Nacional Minera - ANM
	Regional	5.Gobernación del Tolima 6.Corporación Autónoma Regional del Tolima. 7.Instituto Colombiano de Bienestar Familiar ICBF. 8.Camara de Comercio. 9.Banco Agrario. 10.Nueva EPS. 11.Asmet Salud. 12.Pijaos Salud.

CLASIFICACIÓN	ÁMBITO	ACTOR IDENTIFICADO	
Publicas	**Municipal**	**Coyaima**	13.Alcaldía Municipal 14.Unidad Municipal de Asistencia Técnica Agropecuaria - UMATA 15.Personeria 16.Secretaria de Gestión y Desarrollo Social 17.Scretaria de Desarrollo Rural y Ecológico 18.Secretaria de Gobierno 19.Empresa de Servicios Públicos de Coyaima E.P.S Empucoy. 20. Concejo Municipal. 21.Hospial San Roque ESE
		Natagaima	22.Alcaldía Municipal. 23.Concejo Municipal. 24.Personeria. 25.Unidad Municipal de Asistencia Técnica Agropecuaria - UMATA . 26.Oficina de Gestión del riesgo. 27. Secretaria de Obras Públicas. 28.Secretaria de Agricultura Ganadería y Medio Ambiente de Natagaima 29.Empresa De Servicios Públicos De Natagaima S A E S P Espunat. 30.Hospital San Antonio ESE
		Purificación	31.Alcaldía Municipal. 32.Concejo Municipal. 33.Personeria. 34.Unidad Municipal de Asistencia Técnica Agropecuaria - UMATA. 35.Secretaria de Desarrollo Social. 36.Secretaria de Gobierno. 37.Secretaria de Desarrollo Agropecuario y Medio Ambiente. 38.PURIFICA E.S.P Empresas de Servicios Públicos. 39.Hospital Regional la Candelaria ESE
		Prado	40.Alcaldía Municipal. 41.Concejo Municipal. 42.Personeria. 43.Unidad Municipal de Asistencia Técnica Agropecuaria - UMATA 44. Oficina de Desarrollo Comunitario. 45.Secretaria de Planeación. 46.Secretaria de Gobierno. 47.Empresa De Servicios Públicos De Prado S A E S P. 48.Hospital San Vicente de Paul ESE
		Saldaña	49.Alcaldía Municipal. 50.Concejo Municipal. 51.Personeria. 52.Unidad Municipal de Asistencia Técnica Agropecuaria – UMATA. 53.Secretaria de Gobierno. 54.Empresa De Servicios Públicos De Saldaña S A E S P Empusaldaña. 55.Hospital San Carlos ESE

Tabla 38. Clasificación de Actores Institucionales. (Continuación).

CLASIFICACIÓN	ÁMBITO	ACTOR IDENTIFICADO	
Publicas	Municipal	Ortega	56.Alcaldía Municipal. 57.Concejo Municipal. 58.Personeria. 59.Unidad Municipal de Asistencia Técnica Agropecuaria – UMATA. 60.Secretaria General de Gobierno. 61.Oficina de Coordinación Agropecuaria. 62.Empresa de Servicios Públicos Emportega E.S.P. 63.Hospital San José ESE
		Suarez	64.Alcaldía Municipal. 65.Concejo Municipal. 66.Personeria. 67.Secretaria de Planeación Obras Publicas y Desarrollo Agropecuario. 68.Secretaria de Gobierno. 69. Empresa Regional de Acueducto y Saneamiento Básico S.A.S ESP- 70. Hospital Santa Rosa de Lima ESE
		San Luis	71.Alcaldía Municipal. 72.Concejo Municipal. 73.Personeria. 74.Unidad Municipal de Asistencia Técnica Agropecuaria – UMATA. 75.Secretaria de Planeación. 76.Comité Ambiental. 77.Secretaria de Gobierno. 78.Río Luisa S.A. E.S.P. 79.Hospital Serafín Montaña ESE
		Guamo	80.Alcaldía Municipal 81.Concejo Municipal. 82.Personeria. 83.Unidad Municipal de Asistencia Técnica Agropecuaria – UMATA. 84.Secretaria de Gobierno. 85.Secretaria de Desarrollo Social. 86.Gestión del Riesgo. 87.ESPAG empresa de servicios públicos de acueducto, alcantarillado y aseo. 88.Hospital San Antonio ESE
Privadas		89.Empresa Petrolera Hocol	
		90.Enertolima 91Mundo Mujer 92.Colcable	
		93.Represa Hidroprado	

Fuente: Elaboración propia. Proagua, 2018.

Tabla 45. Clasificación de actores comunitarios.

CLASIFICACIÓN	ÁMBITO	ACTORES CLASIFICADOS
Organización u Asociación Campesina.	**Municipal**	1. Asociación Campesina Agropecuaria de Cambrin de Coyaima. 2. ASOGANA de Natagaima. 3. ASOCACAO de Natagaima. 4. ASOPEROTOL de Ortega. 5. ASOAGROIL de Ortega. 6. Asociación de Productores Agropecuarios de Loany Toy municipio de Ortega Tolima. "ASAGROLT" 7. Asociacion De Productores De Café Especial (ASPCEL - LOANI TOY) de Ortega. 8. Asociación de Mujeres Ortegunas Unidas para el Progreso - AMOUPRO – 9. Asociación de Cultivadores de Sábila de Ortega. 10. AGROUNION Vegones de Prado. 11. Asociación Agroindustrial Acuícola de Prado, "ACUISPRADO". 12. ASOPROVISUR de Saldaña. 13. Asociación de Productores de San Luis JUNTOS. 14. Asociación de Agriculturos de San Luis Tolima ASOSANLUIS. 15. Cooperativa Multiactiva Agropecuaria de Suárez. 16. COAGROSUAREZ.

Tabla 39. Clasificación de actores comunitarios. (Continuación).

CLASIFICACIÓN	ÁMBITO	ACTORES CLASIFICADOS
Juntas de Acción Comunal – JAC	**Municipal**	Juntas de Acción Comunal del Área Rural (166)
Gobernadores Indígenas	**Municipal**	Gobernadores Indígenas (94)
Organizaciones Indígenas	**Municipales**	17.Concejo Regional Indígena del Tolima (CRIT) 18.Asociacion de Cabildos Indígenas del Tolima (ACIT) 18.Federacion Indígena de Cabildos del Tolima (FICAT) 20.Asociacion de Resguardos Indígenas del Tolima (ARIT)

Fuente: Elaboración propia. Proagua, 2018.

Tabla 46. Clasificación de actores Gremios.

CLASIFICACIÓN	ÁMBITO	ACTORES IDENTIFICADOS
GREMIOS	**NACIONAL**	1.Asociación Colombiana de Medianas y Pequeñas Industrias – ACOPI 2. Federación Nacional de Arroceros Fedearroz
	REGIONAL	3.Comité de Ganaderos 4.Comité de Cafeteros
	LOCAL	5. Usocoello Distrito de Riego de Coello y Saldaña. 6. Distrito de Riego Triangulo Tolima

Fuente: Elaboración propia. Proagua, 2018.

Tabla 47. Clasificación de actores académicos.

CLASIFICACIÓN	ÁMBITO	ACTORES IDENTIFICADOS
Instituciones de Educación Superior y vocacional	**Regional**	1.Universidad del Tolima 2.Universidad Cooperativa, UNAD 3. SENA Regional Tolima. 4.Instituto tolimense de Formación técnica profesional ITFIP
	Departamental o Regional	5.Secretaria de Educación Departamental - SED
Secretarias de educación	**Municipal**	6.Secretaria de Educación Municipal - SEM, Coyaima 7.Secretaria de Educación Municipal - SEM, Natagaima 8.Secretaria de Educación Municipal – SEM, Ortega 9. Secretaria de Educación Municipal – SEM, Purificación. 10.Secretaria de Educación Municipal – SEM, Saldaña 11. Secretaria de Educación Municipal – SEM, Suarez. 12. Secretaria de Educación Municipal – SEM, Prado. 13.Secretaria de Educación Municipal – SEM, Guamo 14Secretaria de Salud y Educación Municipal – SEM, San Luis
Comités educativos	**Municipal**	15.Comités Técnicos Interinstitucionales de Educación Ambiental - CIDEA, Coyaima 16.Comités Técnicos Interinstitucionales de Educación Ambiental - CIDEA, Natagaima 17.Comités Técnicos Interinstitucionales de Educación Ambiental – CIDEA Ortega. 18.Comités Técnicos Interinstitucionales de Educación Ambiental – CIDEA Prado. 19.Comités Técnicos Interinstitucionales de Educación Ambiental – CIDEA Purificación. 20.Comités Técnicos Interinstitucionales de Educación Ambiental – CIDEA Saldaña. 21.Comités Técnicos Interinstitucionales de Educación Ambiental – CIDEA Suarez. 22.Comités Técnicos Interinstitucionales de Educación Ambiental – CIDEA San Luis. 23Comités Técnicos Interinstitucionales de Educación Ambiental – CIDEA Guamo.

Fuente: Elaboración propia. Proagua, 2018.

10.2 Talleres diagnostico participativo

Dando cumplimiento a la Guía Metodología para la Formulación del Plan de Manejo Ambiental de Acuíferos emanada por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2014. En la fase diagnóstica del Plan de Manejo Ambiental del Acuífero del Sur del Tolima se realizaron los talleres de diagnóstico participativo con el fin de realizar la caracterización de la zona de estudio y la identificación de problemas sobre el acuífero y detallar las expectativas de los diferentes actores sobre el PMA del Acuífero del Sur del Tolima, la identificación de posibles amenazas y escenarios deseables sobre el mismo.

En este marco se realizó el proceso de convocatoria y la metodología establecida en la estrategia de participación ya mencionada en la fase de aprestamiento; lo cual implicó convocatoria mediante oficios entregados personalmente, llamadas vía telefónica y envió de correos electrónicos, realizada con un tiempo de anticipación de cinco días hábiles; llevando el registro de recibido del oficio.

De igual manera se instalaron carteleras informativas las cuales fueron ubicadas en sitios estratégicos como alcaldías y en lugares de alta concurrencia de la población ver Tabla 48**.**

Tabla 48. Convocatoria Cartelera.

Registro fotografico convovatorias	
Cartela informativa, instalada en instalaciones de la Alcaldía Municipal de Coyaima	Cartela informativa, instalada en instalaciones de la Alcaldía Municipal San Luis.

Fuente: Elaboración propia. Proagua, 2018.

De igual manera en la Tabla 49 se puede evidenciar por municipio la fecha, tipo de convocatoria y sector convocado.

Tabla 49. Convocatorias por municipios.

Municipio	Fecha	Tipo de convocatoria	Sector convocado
Coyaima	15-03-18	Oficios dirigidos, ubicación de carteleras en sitios estratégicos del municipio, llamadas vía celular	Entes territoriales (Alcalde Municipal, Director Territorial CORTOLIMA), Presidentes de Junta de Acción Comunal, Presidentes de Acueductos Veredales ,Gobernadores Indígenas del área de influencia del proyecto
Natagaima	23-02-18	Oficios dirigidos, llamadas vía celular	Entes territoriales (Alcalde Municipal, Director Territorial CORTOLIMA), Presidentes de Junta de Acción Comunal, Presidentes de Acueductos Veredales ,Gobernadores Indígenas del área de influencia del proyecto
	06-04-18	Oficios dirigidos, llamadas vía celular	Territorial CORTOLIMA), Presidentes de Junta de Acción Comunal, Presidentes de Acueductos Veredales ,Gobernadores Indígenas del área de influencia del proyecto
Ortega	17-03-18	Oficios dirigidos, llamadas vía celular	Territorial CORTOLIMA), Presidentes de Junta de Acción Comunal, Presidentes de Acueductos Veredales ,Gobernadores Indígenas del área de influencia del proyecto
	22-03-18	Oficios dirigidos, llamadas vía celular	Entes territoriales (Alcalde Municipal, Director Territorial CORTOLIMA), Presidentes de Junta de Acción Comunal, Presidentes de Acueductos Veredales ,Gobernadores Indígenas del área de influencia del proyecto
Prado	14-03-18	Oficios dirigidos, llamadas vía celular	Entes territoriales, Presidentes de Junta de Acción Comunal, Presidentes de Acueductos Veredales ,Gobernadores Indígenas
Purificación	21-02-18	Oficios dirigidos, llamadas vía celular	Entes territoriales (Alcalde Municipal, Director Territorial CORTOLIMA), Presidentes de Junta de Acción Comunal, Presidentes de Acueductos Veredales ,Gobernadores Indígenas del área de influencia del proyecto
	05-04-18	Oficios dirigidos, llamadas vía celular	Entes territoriales (Alcalde Municipal, Director Territorial CORTOLIMA), Presidentes de Junta de Acción Comunal, Presidentes de Acueductos Veredales ,Gobernadores Indígenas del área de influencia del proyecto

Tabla 43. Convocatorias por municipios. (Continuación).

Municipio	Fecha	Tipo de convocatoria	Sector convocado
Saldaña	01-03-18	Oficios dirigidos, llamadas vía celular	Entes territoriales (Alcalde Municipal, Director Territorial CORTOLIMA), Presidentes de Junta de Acción Comunal, Presidentes de Acueductos Veredales, Gobernadores Indígenas del área de influencia del proyecto
Suarez	23-03-18	Oficios dirigidos, llamadas vía celular	Entes territoriales (Alcalde Municipal, Director Territorial CORTOLIMA), Presidentes de Junta de Acción Comunal, Presidentes de Acueductos Veredales, Gobernadores Indígenas del área de influencia del proyecto
Guamo	16-03-18	Oficios dirigidos y llamadas telefónicas	Entes territoriales (Alcalde Municipal, Director Territorial CORTOLIMA), Presidentes de Junta de Acción Comunal, Presidentes de Acueductos Veredales del área de influencia del proyecto

Fuente: Elaboración propia. Proagua, 2018.

El objetivo de los talleres de diagnóstico participativo tiene como objeto dar a conocer la información recolectada en cada uno de los componentes dentro del área del acuífero, para que sobre este contexto los actores puedan tener un escenario de partida para realizar la caracterización del área de influencia la identificación de problemas de la zona en estudio.

Los talleres de diagnóstico participativo en la presente fase tienen como objetivo principal conocer conjuntamente los saberes y los conocimientos de los actores sociales el estado actual y problemáticas ambientales asociadas al acuífero. Además de establecer las posibles líneas de acción para el uso y manejo del acuífero, con el objeto de establecer un equilibrio entre el aprovechamiento del recurso hídrico subterráneo y su conservación.

Para dar cumplimiento al objetivo previsto y teniendo en cuenta la clasificación de actores y la ubicación geográfica del Acuífero del Sur del Tolima se realizaron ocho (8) talleres de diagnóstico participativo, los cuales se distribuyeron como se muestra en la Tabla 50**.**

Tabla 50. Talleres de diagnóstico participativo - Fase Diagnóstico.

N°	Escenario	Lugar	Convocados
1	Taller diagnóstico participativo PMAA	Salón Vive Digital Alcaldía del Municipio de Saldaña Tolima	Actores Institucionales, y comunitarios
2	Taller diagnóstico participativo PMAA	Biblioteca municipal de la localidad de Prado Tolima	Actores Institucionales, y comunitarios
3	Taller diagnóstico participativo PMAA	Casa de la cultura del municipio de Coyaima Tolima	Actores Institucionales, y comunitarios
4	Taller diagnóstico participativo PMAA	Casa de la cultura del municipio de Ortega Tolima	Actores Institucionales, y comunitarios
5	Taller diagnóstico participativo PMAA	Salón vive digital de la alcaldía del municipio de Suarez Tolima	Actores Institucionales, y comunitarios
6	Taller diagnóstico participativo PMAA	Sala múltiple del colegio Francisco José de Caldas del municipio de Natagaima Tolima	Actores Institucionales, y comunitarios
7	Taller diagnóstico participativo PMAA	Centro recreacional piscina de olas en el municipio de Purificación Tolima	Actores Institucionales, y comunitarios
8	Taller diagnóstico participativo PMAA	Escuela de la vereda Centro Chipuelo del municipio del Guamo	Comunidad

Fuente: Elaboración propia. Proagua, 2018.

Convocatoria: La convocatoria se realizó a cada uno de los actores identificados, relacionados con el PMAA.

Metodología: Los talleres de diagnóstico participativo están direccionados metodológicamente por la técnica de la IAP, con el objeto de promover en los asistentes la aprensión de conceptos, a través de la construcción colectiva de saberes, aplicando la entrevista, dialogo de saberes, la cartografía social, árbol de problemas y de objetivos, como se evidencia en la Tabla 51. Metodología utilizada en los talleres.

Tabla 51. Metodología utilizada con las comunidades en los talleres de diagnóstico.

Método	Objeto	Tipo
Entrevista	Indagar sobre algunos aspectos históricos de la comunidad, sobre todo en riesgos y amenazas.	Entrevistas Semi estructuradas a líderes veredales
Dialogo de saberes	Conocer las experiencias de las comunidades en sus territorios y poder confrontar tipos de conocimientos	Se trabajó en cada uno de los encuentros en plenaria
Guía de preguntas	Facilitar el trabajo a la comunidad	guía de temas ordenados y estructurados en capítulos organizados cada uno en un conjunto de preguntas numeradas secuencialmente
Cartografía social	Implicar a la comunidad en un proceso de identificación de problemas, reconocimiento de su territorio y transformación social.	Se utilizó un mapa guía que ayudo a la especialización de los integrantes en su territorio, luego por grupos de trabajo elaboraron sus mapas por veredas, guiados por la guía de preguntas.

Fuente: Elaboración propia. Proagua, 2018.

Con los talleres participativos, se buscó promover una relación de mutuo aprendizaje, motivando el aprender y comprender aspectos relevantes del territorio, la importancia del acuífero, el auto reconocimiento, el fortalecimiento de relaciones comunitarias y la sensibilización frente a las actividades que hacen parte del Proyecto. Estos espacios además de convertirse en momentos para la reflexión y el dialogo, permitieron realizar la toma de información requerida, para efectuar una lectura del territorio, bajo la perspectiva de la comunidad.

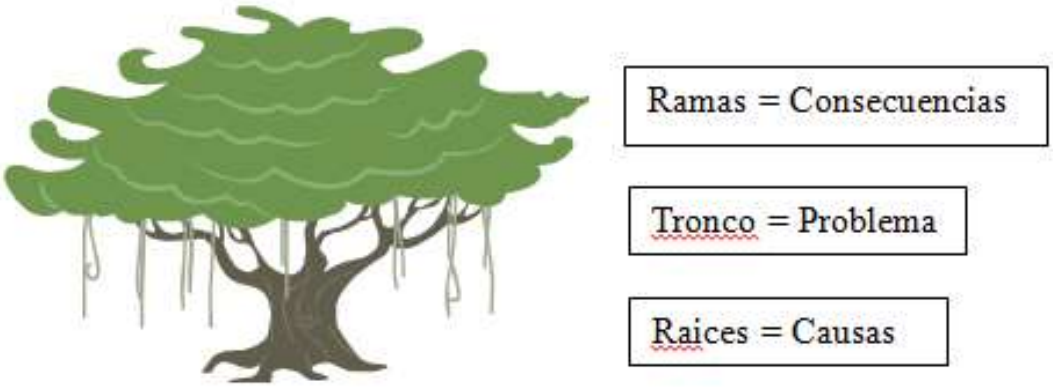
La cartografía social con guía de preguntas generadoras , el árbol de problemas y objetivos fueron las herramientas para el trabajo con las comunidades de los municipios área de influencia del acuífero, para iniciar el trabajo se realizó una breve socialización del proyecto, se efectuó un ejercicio de espacialización para que los participantes se ubicaran geográficamente en la zona, seguidamente según el municipio que se trabajó se dividieron por grupos máximo 5 participantes según el área de influencia, se entregaron sus respectivos materiales de trabajo y documento guía de preguntas generadoras, mapas base de la zona del acuífero, papel periódico, marcadores, lápiz, borrador, etc. Se socializo la metodología de trabajo con los participantes, el proceso fue guiado para lograr que los actores reconocieran el territorio y plasmaran la ocupación del mismo. Los resultados fueron expuestos en plenaria; en el segundo momento del taller se realizó la identificación de problemas utilizando el "árbol de problemas y de objetivos", En este momento se desarrolló un dialogo de saberes con los actores sociales, con el objeto de identificar y priorizar las amenazas, luego sobre este resultado se identificaron unas posibles soluciones o líneas de proyectos. En la Tabla 52 se puede evidenciar las herramientas, metodología y temas desarrollados en los talleres.

Tabla 52. Formato guía del taller de Diagnostico Participativo.

Objetivo	Herramientas de comunicación materiales y equipos utilizado	Metodología y temas desarrollados
Realizar la caracterización socioeconómica cultural, ambiental y participativa de la comunidad del área de influencia el acuífero del sur del Tolima, y la identificación de problemas frente al recurso hídrico	Las herramientas comunicativas utilizadas incluyen: Presentación en power point Para el encuentro se utilizó: Video Beam Lista de asistencia Cámara fotográfica. Materiales para la cartografía social (papel periódico, colores, marcadores, lápiz, borrador, sacapuntas, etc) Refrigerio.	Herramientas metodológicas: Cartografía Social. Mapa de actores sociales. Árbol de problemas. Socialización de la propuesta. Espacialización en el mapa. Trabajo por grupos. Socialización del trabajo realizo. Identificación y priorización de problemas. Identificación de actores sociales.

Fuente: Elaboración propia. Proagua, 2018.

Figura 55. Árbol de problemas



Fuente: Elaboración propia. Proagua, 2018.

También conocido como método del árbol, técnica del árbol de problemas, análisis situacional o análisis de problemas, esta herramienta nos permite mapear o diagramar el problema. La estructura de un árbol de problemas es:

- En las raíces se encuentran las causas del problema
- El tronco representa el problema principal
- En las hojas y ramas están los efectos o consecuencias

Es una forma de representar el problema logrando de un vistazo entender qué es lo que está ocurriendo (problema principal), por qué está ocurriendo (causas) y que es lo que esto está ocasionando (los efectos o consecuencias), lo que nos permite hacer diversas cosas en la planificación del proyecto, como se evidencia en la Figura 55.

Guía de preguntas generadoras.

GUIA PREGUNTAS GENERADORAS CARTOGRAFIA SOCIAL FASE DE DIAGNOSTICO PLAN AMBIENTAL ACUIFERO SUR DEL TOLIMA

FECHA: URB_____ RURAL____

VEREDAS O BARRIOS;

NOMBRE DE LOS PARTICIPANTE CARGO

_____ _____

_____ _____

_____ _____

Objetivo:

- Identificar el entorno socioeconómico, cultural, ambiental y participativo presente de su localidad (vereda o parte urbana), en aras de obtener lineamientos para la caracterización de la zona.

Cuestionario preguntas claves: (todas las preguntas son asociadas al sitio donde viven)

Social

- Dibuja el croquis de su territorio, ubicación de las viviendas con sus respectivas vías de ingreso, y como son (Caminos de herradura, trocha, placa huella, carretera destapada o carretera pavimentada),

- Describa el número total de familias en la vereda_____ números de familia ubicada dentro de la zona de influencia_____

- Identifique en el mapa si en la vereda hay Instituciones educativas hay.

- Primaria sí _____ No_____ Están en funcionamiento ____ Como se llama _____

- En caso de No a donde se traslada los niños a estudiar, en que vereda_____ y que tiempo se gasta para trasladarse _____

- Bachillerato sí _____ No_____ Está en funcionamiento _____ como se llama_____

- En caso de No a donde se traslada los niños a estudiar, en que vereda_____ y que tiempo se gasta para trasladarse _____

- Ubique en el mapa, con dibujo o figura las Instituciones educativas, jardines infantiles, iglesia, salón comunitario, tiendas, puesto de salud, canchas deportivas, espacio recreativo, parques, cancha de tejo u otros,
- Qué medio de transporte usa la comunidad de la vereda:

Bus ____carro___ Moto___ Caballo o mula___ o no hay ____

Existe ruta de transporte intermunicipal si____ no _____ en que horario_____

- En las viviendas cuentas con medios sanitarios como Pozo sépticos____ Letrinas_____ Inodoro_____ espacio abierto_____

- ¿Qué elementos de consumo utiliza la población de la vereda para cocinar?

Leña_____ Gas cilindro_____ Gas domiciliario_____

- El sector cuenta con centro o puesto de salud (si existe indíquelo en el mapa), lugar donde acude la población en caso de emergencia. Describa que EPS de salud se frecuenta en el sector, cuales son las enfermedades frecuentes en la población, _____

- ¿Cómo se curan las enfermedades al interior de la comunidad? ¿Mediante qué tratamientos? ¿Quiénes dentro de la comunidad se encargan de curar las enfermedades?

- Que plantas utilizan para tratamiento de enfermedades y en que sitio lo encuentran.

Económica

Identifique y localice en el mapa las producciones mineras (de modo artesanal o empresa, como: oro, cobre, petroleras, gravilla, mármol y otras

- Represente los espacios dedicada a prados o pasto

Ambiental

- Dibuja en el ecomapa las fuentes de agua como: aljibes, pozos, ríos, nacimientos, quebrantas, lagos, que cruza en el sector (con su respectivo nombre),
- Localiza en el mapa el sitio de la infraestructura del acueducto (si existe), Nombre de la empresa que presta el servicio, costo promedio del servicio.

- Identifique y localice en el mapa el sitio de la infraestructura del alcantarillado o aguas residuales

- Localiza en el mapa los sitios de disposición de las basuras.

- Existen actualmente erosiones en la vereda sí___ No____

Si la respuesta es Si señale en el ecomapa los sitios de riesgos ambientales como erosión, inundación u otros fenómenos ambientales

- Identifique sitios que la comunidad considere importantes por el paisaje. que especias nativas había antes y ahora? Escríbalas

- Que especies de animales silvestres (animales que habitan en el monte) encontraba antes y ahora. descríbalas
- Falta y escasez del recurso hídrico en la zona
- ¿Qué puede estar contaminando el agua que usa en su territorio las actividades humanas, cultivos, fábricas? ¿En qué tiempo del año se reduce la producción de agua o sufre por la falta de agua? ¿Se secan las fuentes hídricas, manantiales en algún tiempo del año?
- ¿Para Usted que es un acuífero?
- ¿Sabe el área que abarca el acuífero de Sur del Tolima?
- ¿Qué instituciones hay en la zona, que tengan alguna actividad con el agua?
- ¿Considera importante el acuífero?
- ¿Usted hace uso del agua del acuífero?
- ¿Para que la utiliza?
- ¿Qué actividades de las que Usted y su comunidad u organización desarrollan tienen alguna relación con este acuífero?
- ¿Cómo es la calidad del agua subterránea?
- ¿Cómo es el color del agua subterránea?
- ¿Considera usted que tiene algún sabor especial el agua del acuífero?
- ¿Cuáles son las principales acciones que contaminan el acuífero?
- ¿Considera Usted que el agua subterránea nunca se acaba?
- ¿Quién cree Usted que es el encargado de proteger el acuífero?
- ¿Qué acciones considera que debe tomar CORTOLIMA y cuales la comunidad?
- ¿Cuáles son sus debilidades y fortalezas como actor social, frente a las situaciones ambientales del acuífero?

Material de Apoyo: Como herramientas de apoyo se utilizarán los siguientes materiales:

- Presentación en Power Point.
- Cámara fotográfica y/o de vídeo.
- Papel periódico, marcadores, colores, lápices, esferos, borrador, saca punta.
- Preguntas generadoras.
- Diagrama Árbol de Problemas.
- Diagrama árbol de objetivos.
- Folleto informativo.
- Video de avance del PMAA.
- Listado de asistencia

Equipo Técnico: Para la realización de los talleres de diagnóstico participativo se contó con la participación de los siguientes profesionales:

- Profesionales del componente social.
- Técnicos de apoyo logística del evento.
- Profesionales del componente hidrogeológico.

A continuación, se relacionan los talleres diagnostico participativo efectuados en cada uno de los municipios, se especifica la fecha, temática participación y registro fotográfico como se puede apreciar en la Tabla 53.

Tabla 53. Talleres ejecutados con las comunidades - Fase Diagnostico.

Municipio	Fecha	Temática Tratada	Participación por genero		Registro Fotografico
			F	M	
Coyaima	15-03-18	Taller diagnóstico participativo se aplicó la cartografía social, mapa de actores sociales y árbol de problemas	7	41	
Natagaima	06-04-18	Taller diagnóstico participativo se aplicó la cartografía social, mapa de actores sociales y árbol de problemas	19	29	
Ortega	22-03-18	Taller diagnóstico participativo se aplicó la cartografía social, mapa de actores sociales y árbol de problemas	7	19	

Tabla 48. Talleres ejecutados con las comunidades - Fase Diagnostico. (Continuación).

Prado	14-03-18	Taller diagnóstico participativo se aplicó la cartografía social, mapa de actores sociales y árbol de problemas	10	24	
Purificación	05-04-18	Taller diagnóstico participativo se aplicó la cartografía social, mapa de actores sociales y árbol de problemas	24	19	
Saldaña	01-03-18	Taller diagnóstico participativo se aplicó la cartografía social, mapa de actores sociales y árbol de problemas	13	16	
Suarez	23-03-18	Taller diagnóstico participativo se aplicó la cartografía social, mapa de actores sociales y árbol de problemas	13	17	

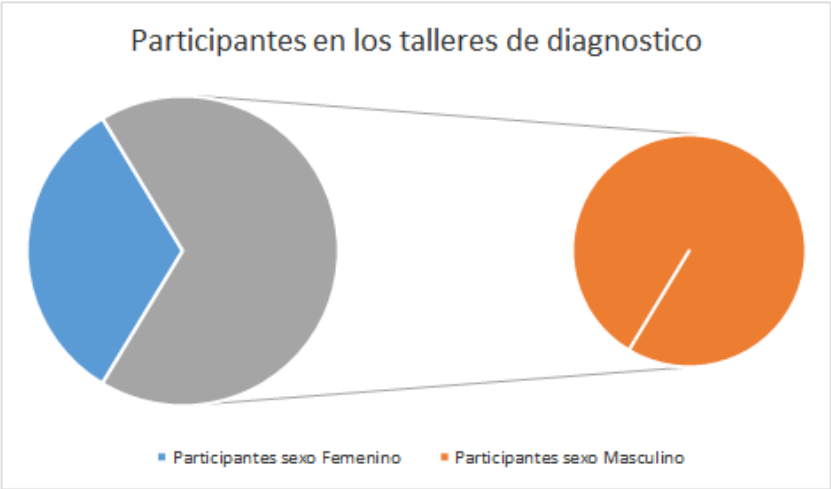
Tabla 48. Talleres ejecutados con las comunidades - Fase Diagnostico. (Continuación).

Guamo		Taller diagnóstico participativo se aplicó la cartografía social, mapa de actores sociales y árbol de problemas			

Fuente: Elaboración propia. Proagua, 2018.

En los talleres se contó con una participación de 490 actores con injerencia en la zona de estudio, de los cuales 185 fueron de sexo femenino y 308 de sexo masculino, como se evidencia en la Figura 56.

Figura 56. Participantes en los talleres de diagnóstico participativo



Fuente: Elaboración propia. Proagua, 2018.

El ejercicio de diagnóstico participativo en el acuífero Sur del Tolima se desarrolló en cada uno de los municipios área influencia, donde se identificaron ciento treinta y tres (133) entre veredas y comunidades indígenas, las cuales se suscriben dentro del acuífero.

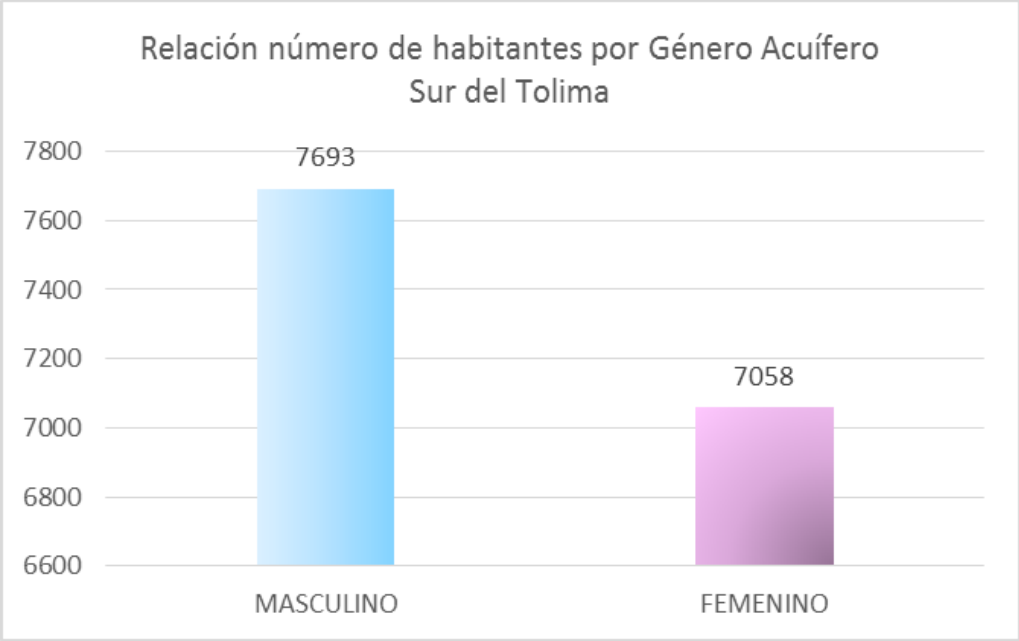
Consecuentemente con el tamaño y la dinámica territorial expuesta, las amenazas se referencian considerando los aportes de los actores institucionales, productivos y comunitarios en cada sector.

Los resultados de los talleres de diagnóstico se consolidaron de la siguiente manera:

10.2.1 Población

La zona objeto de estudio - Acuífero sur del Tolima, culturalmente se identifica por poseer parámetros de comportamiento apoyados en sus tradiciones y cosmovisiones, de los Pijaos, Coyaima y Natagaima. De acuerdo a los datos suministrados directamente por las comunidades que participaron en los talleres, se tiene en el área de estudio: Una población total de 14.751 habitantes, de los cuales 7.693 corresponden al sexo masculino, lo que representa el 52 % y 7.058 corresponden al género femenino, correspondiente al 48 % del total de la población registrada, como se evidencia en la Figura 57.

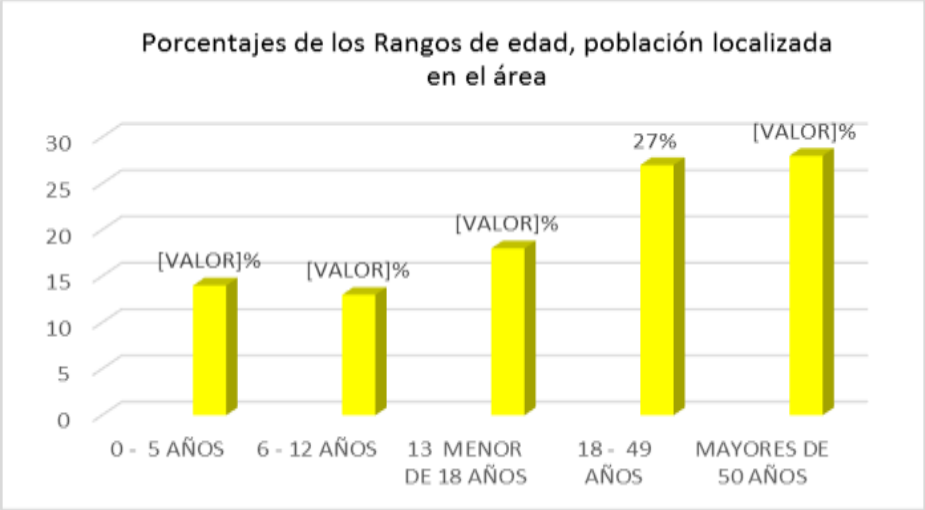
Figura 57. Número de habitantes por género, que habitan en el área del Acuífero Sur del Tolima.



Fuente: Elaboración propia a partir de talleres de cartografía social. Proagua, 2018.

Distribución de la población por categorías de edades Los porcentajes por rangos de edades, registrados en la Figura 58 corresponden a:

Figura 58. Rangos de edad por categoría de edades.



Fuente: Elaboración propia a partir de talleres de cartografía social. Proagua, 2018.

El mayor porcentaje que corresponde al 28%, está representado por personas que superan los 50 años, seguidamente se ubica con un 27% los habitantes que se encuentran en un rango de edad entre los 18 y 49 años, el 14% de la población, corresponde a menores de edad, y se ubican entre los 0 y 5 años y el 13% se categorizan en el rango de edad entre los 6 y 12 años.

10.2.2 Poblaciones Indígenas:

En la foto 20 y foto 21, se visualiza una muestra de las artesanías elaboradas por los pobladores de la zona y viviendas típicas ubicadas en la zona del acuífero.

Fotografía 20. Artesanías Vereda la Chamba Municipio del Guamo

Fotografía 21. Viviendas rurales Corregimiento de Castilla Municipio de Coyaima

Fuente: Elaboración propia a partir de talleres. Proagua, 2018.

Los actores sociales, que asistieron a los talleres, reconocen 40 comunidades indígenas que se encuentran en el área del proyecto Acuífero sur del Tolima, diez y siete (17) en el municipio de Coyaima, once (11) en el municipio de Natagaima, seis (6) en el municipio de Ortega, una (1) en el municipio de Prado y cinco (5) en el municipio de Purificación, las cuales se registran en la Tabla 54 y Figura 59.

Tabla 54. Comunidades indígenas identificadas por actores en el área del proyecto.

Mpio	No.	Comunidades Indígenas	Mpio	No.	Comunidades Indígenas
Coyaima	1	Angostura	Natagaima	18	Rincón Anchique
	2	Chenche		19	Pacande
	3	Chenche Zaragoza		20	Yacó Molano
	4	Doyare Centro		21	Bateas
	5	Doyare Palmar		22	Pueblo Nuevo
	6	Las Palmas		23	Palma Alta
	7	Lomas De Guaguarco		24	Anacarco
	8	Media Luna		25	Cocana
	9	Potrerito		26	Mercadillo Progreso
	10	Zaragoza		27	Camino Real Anchique
	11	Socorro		28	Guamal Guadualeja
	12	San Miguel	Ortega	29	Balsillas
	13	Tambo		30	Bocas De Tetuán
	14	El Floral		31	Nicolás Ramírez
	15	Totarco Piedras		32	Paso Ancho
	16	Totarco Tradicional		33	Resguardo Guatavita Tua
	17	Totira Bonanza		34	San Antonio Cucharo
Purificación	36	El Vergel	Prado	35	Resg. Yaporogos Taira
	37	Yaporó			
	38	Poin Constaira			
	39	Chenche Asoleado			
	40	Chenche Vergel			

Fuente: Elaboración propia a partir de talleres de cartografía social. Proagua, 2018.

Figura 59. Comunidades Indígenas de la Comunidad Pijao identificadas en el área de estudio.

Fuente: Elaboración propia a partir de talleres de cartografía social. Proagua, 2018.

10.2.3 Educación

Con relación a niveles educativos, en general se tiene: que el 41% de la población cuentan con primaria incompleta, 30% con primaria completa, el 15% bachillerato incompleto, 7% bachillerato completo, 3% tienen nivel técnico, 2% nivel profesional y el 2 % es población no saber leer ni escribir, como se evidencia en la Figura 60.

Figura 60. Niveles educativos que identifican las comunidades, en el área del proyecto.

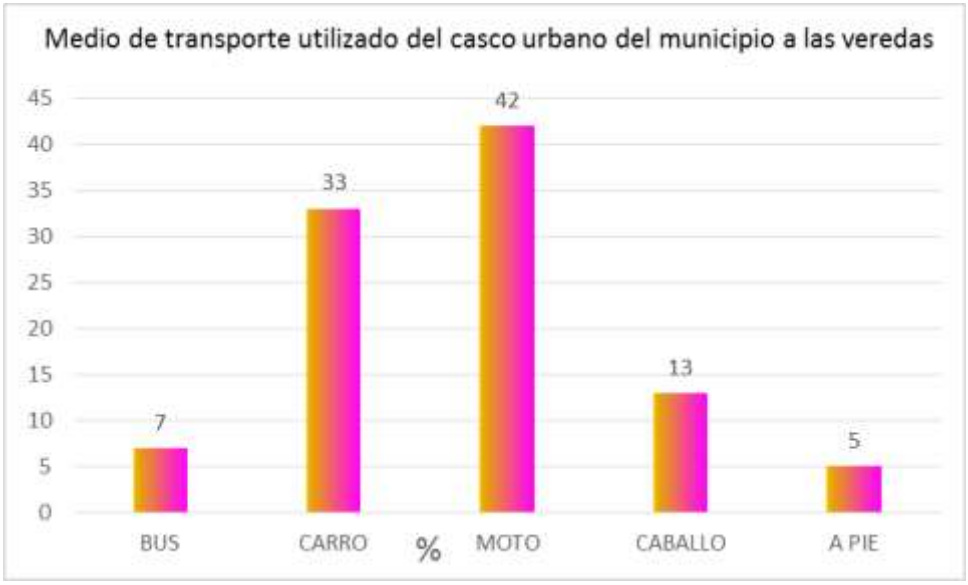
Fuente: Elaboración propia a partir de talleres de cartografía social. Proagua, 2018.

El 100% de las veredas cuentan con un centro educativo de educación básica primaria.

10.2.4 Medios de transporte

Con relación a los medios de transporte, que utilizan las comunidades, para transportarse desde el casco urbano del municipio, hacia sus veredas, se tiene: el medio más utilizado para el transporte de la comunidad es la moto representada en un 42%, seguida de los carros particulares con un 33%, el 13% se moviliza a caballo, el 7% en el bus urbano o la ruta y el 5% a pie, como se registra en la Figura 61.

Figura 61. Relación porcentual de los medios de transporte utilizados por la comunidad.



Fuente: Elaboración propia a partir de talleres de cartografía social. Proagua, 2018.

10.2.5 Servicios públicos

Con relación a los servicios públicos, en el área muestreada, la comunidad manifestó contar con servicio de agua en un 100%, sin embargo, se contempló que, en la zona rural, ésta se toma directamente de los acueductos veredales, los cuales no tienen proceso de potabilización y en muchos casos lo toman de manas y aljibes que tienen en sus predios. Con relación al servicio de energía eléctrica, la comunidad manifestó contar en un 100% con este servicio en sus veredas, servicio prestado por Enertolima. Los residuos sólidos a nivel general son quemados, enterrados o arrojados a las fuentes hídricas o canales de agua que existen en la región, desde la administración municipal, no se presta el servicio de recolección de basuras. Servicio de telefonía es prestado por Movistar y Claro.

En la Tabla 55 y Figura 62 se reconocen los porcentajes de la cobertura de los servicios públicos en el área de estudio.

Tabla 55. Cobertura de servicios públicos identificada en área de estudio.

Cobertura de servicios públicos	
Agua	100%
Luz	100%
Recolección Residuos	15%
Redes De Comunicación	80%

Fuente: Elaboración propia a partir de talleres de cartografía social. Proagua, 2018.

Figura 62. Cobertura de servicios públicos.

Fuente: Elaboración propia a partir de talleres de cartografía social. Proagua 2018.

En la zona rural objeto de estudio no se cuenta con servicio de alcantarillado.

10.2.6 Fuente energética para la cocción de alimentos

La principal fuente energética para la cocción de alimentos en el área de la muestra, la comunidad manifestó en un 50% cocinan con leña, seguida del servicio de gas domiciliario prestado por las empresas de Alcanos y Opys en los municipios de Coyaima, Natagaima, Purificación en un 40% y en 10% comprar el cilindro de gas propano, esta información se puede visualizar en la Figura 63.

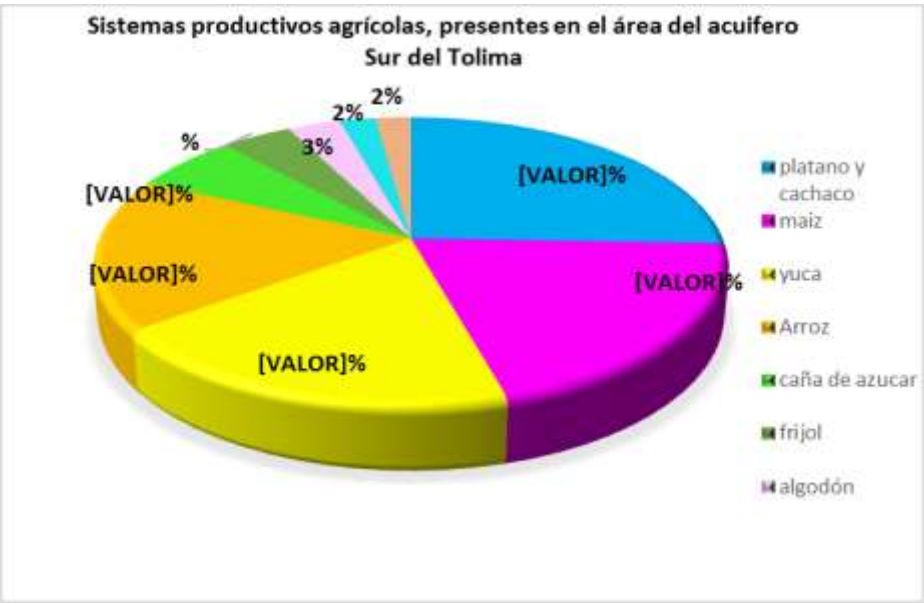
Figura 63. Fuente energética para la cocción de alimentos en el área del Acuífero.

Fuente: Elaboración propia a partir de talleres de cartografía social. Proagua, 2018.

10.2.7 Sistemas productivos

De acuerdo a la información suministrada por la comunidad, se registra en la Figura 64 para la zona los sistemas productivos agrícolas:

Figura 64. Sistemas productivos agrícolas.



Fuente: Elaboración propia a partir de talleres de cartografía social. Proagua, 2018.

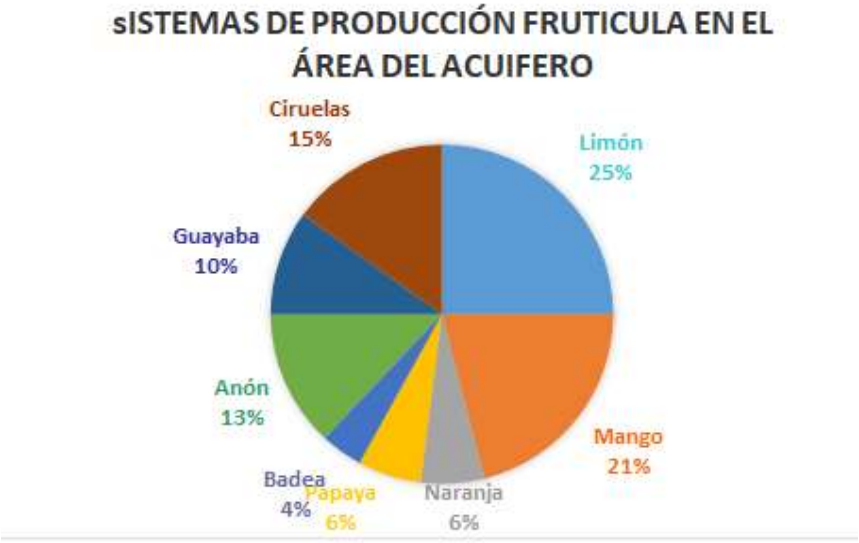
Anteriormente la mayor producción era el arroz, debido al cambio climático , y al alto costo de los químicos y tratamiento para cosecharlo, se decide cambiar su producción por otros cultivos, en la actualidad el 27% de la economía es el Plátano con sus diferentes especies como el cachaco, guineo, banano, ya que se aprovecha el fruto y las hojas de la planta las venden al por mayor a otras regiones, utilizadas como envoltura en la hechura de tamales, un paquete de hoja lo vende en $15.000 pesos a los intermediarios, los municipios con más producción son: Ortega, Natagaima y Coyaima.

Como segunda producción agrícola está el maíz, el cual corresponde al 22% de los alimentos básicos de la región, resaltando que las veredas intervenidas en el proyecto del Plan de manejo ambiental del acuífero del sur, son reconocidas por las ventas de los bizcochos achiras, calentanos y mantecos ofrecidos a sus turistas, es el caso especial del corregimiento de Castilla en el municipio de Coyaima, igualmente en Natagaima, Purificación, Prado y el Guamo.

Otro producto agrícola de bajo costo de producción es la yuca de la cual 21% de la población la cultiva en sus predios para el autoconsumo y comercialización en los supermercados o en la plaza de mercado de los municipios.

El 18% de cultivo de producción es el arroz, especialmente en los municipios de Prado, Saldaña y una Parte Purificación. Un 5% del Cultivo de frijol y el 7% en caña de azúcar especialmente en Coyaima, La Flor de Jamaica con un 2% de producción en el municipio de Natagaima, en el municipio de Suarez cultivan un 2% de pancoger.

Figura 65. Sistemas productivos frutícolas en el área de influencia del Acuífero



Fuente: Elaboración propia a partir de talleres de cartografía social. Proagua, 2018.

En los municipios de influencia del Sur Tolima se identifican una variedad de árboles frutales, pero las frutas que más se genera ingreso al grupo familiar el 25% es el limón, ya que es un cultivo constante, asimismo el mango con un 21% de producción, teniendo en cuenta que este cultivo prevalece dos veces en el año; también las ciruelas y el anón son productos que se venden más en los municipios como Coyaima, Saldaña y Natagaima. Los otros frutales, aunque presentan una baja producción, la comunidad lo determina más de autoconsumo y con poca comercialización, los sistemas de producción se visualizan en las Figura 65Figura 66.

Figura 66. Sistemas productivos pecuarios en el área de influencia del Acuífero.

Fuente: Elaboración propia a partir de talleres de cartografía social. Proagua, 2018.

El 58% de la producción animal es la ganadería, especialmente en los municipios de Prado, Purificación y Coyaima que presentan mayor producción de ganadería de ceba, de leche y de doble propósito, obteniendo una mayor producción de los derivados de la leche, ya que en estos municipios del sur son reconocidos por la venta de los deliciosos quesillos, quesos campesino doble crema y la cuajada. El 25% corresponde a la producción de cría de animales avícolas como el pollo criollo, pollo engorde, gallinas ponedoras y piscos de las cuales las familias de las veredas intervenidas en los 9 municipios, realizan esta actividad el 20% para autoconsumo y el 80% para comercialización dentro del municipio.

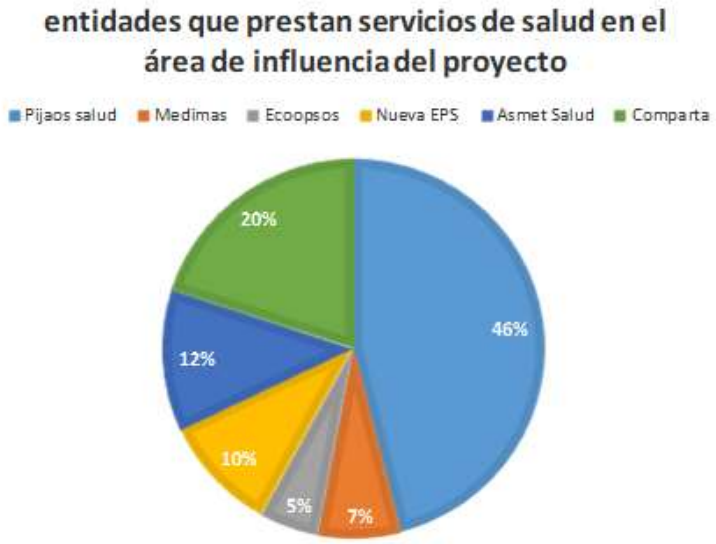
En el Tolima también es reconocida por su deliciosa lechona, donde un 17% la producción es animales porcinos porque existen fincas en los diferentes municipios identificada que no cumplen con normas legales para la cría de esta especie, como se puede evidenciar en la Figura 66.

Producción Pesquera: Se referencian especies como bocachico y nicuro, para el autoconsumo y la venta en las pocas de subiendas. El municipio de prado siendo sector turístico es unos de los municipios de mayor producción pesquera por sus piscilagos de crías de mojarra y cachama, aunque en otros municipios cuentan con predios que tienen piscilagos para el autoconsumo o comercialización dentro del municipio

10.2.8 Salud

Con relación al servicio de salud que se presta en la zona, la comunidad manifiesta que deben desplazarse a las cabeceras municipales para la atención, los puestos de salud construidos ya no operan. En la Figura 67 Se registran las entidades que prestan servicios de salud en el área.

Figura 67. Entidades prestadoras del servicio de salud en el área de influencia.



Fuente: Elaboración propia a partir de talleres de cartografía social. Proagua, 2018.

El 46% de la población en el área del acuífero Sur del Tolima, es atendida por el servicio de la EPS Subsidiada de Pijaos Salud EPS Indígena que es la única que cuenta con sus propias IPS The wala en los municipios de Coyaima, Natagaima y Ortega, el 20% de la población están afiliado a la EPS Subsidiada de Comparta, de nivel 1 y 2, existe una población del 5% afiliada a la EPS subsidiada Ecoopsos, atendido en los hospitales municipales de primer nivel de atención, teniendo en cuenta que en el municipio de Purificación cuenta con un hospital de

nivel II, en caso de una atención especializada la comunidad es trasladada al municipio del Espinal donde hay un servicio más complementario y en última instancia del estado de salud de riesgo se remite a la ciudad de Ibagué al Hospital Federico Lleras; se determinó que en un 83% de la población pertenece al régimen subsidiado y un 17% al régimen contributivo.

Las enfermedades más frecuentes en esta población es la gripa, el dengue, la Chikunguña la Diabetes, Hipertensión, la comunidad expresa que actualmente una de las enfermedades que se ha venido presentando son las enfermedades renales, existe una población mínima de pacientes con diálisis, del mismo modo infecciones intestinales especialmente en los niños. Otras enfermedades son los accidentes de moto, o caída de caballos, generando fracturas, mordeduras de culebras. Los participantes expresaron que utilizan los remedios caseros con hierbas aromáticas, como yerbabuena, albahaca, poleo, mata ratón, limoncillos, las hojas de la guanábana, Las hojas del Guayabo, la hoja de coca, pero si la persona no se recupera lo trasladan inmediatamente al hospital del municipio.

10.2.9 Acontecimientos o Hechos Importantes

Durante la elaboración de la cartografía social, permitió espacio de dialogo con los participantes de las diferentes veredas de influencia del acuífero, que al principio del taller no expresaban hechos que impacto el sector, mostrando la desconfianza frente hechos que marco el territorio y el entorno familiar como fue la presencia de grupos al margen la Ley primero de la FARC y luego los Paramilitares, donde refiere que fueron víctimas del desplazamiento, abandonando sus tierras para proteger a sus familias especialmente, Coyaima, Saldaña y Suarez que recuerdan estos hechos negativos en la vida de los participante, lo mismo la muerte de uno de los líderes de Coyaima de la Vereda de Chenche Buenos Aires, por esto la participación como líderes era negativa. Pero también recuerdan como hechos positivos que en el año 2008 se da la recuperación de las tierras indígenas en los municipios de Natagaima, Coyaima y Ortega. En el año 2017 fue instalado el gas domiciliario en algunas veredas, lo cual genero empleo, lo mismo la elaboración de los acueductos en las veredas debido a las sequias y extinción de algunas quebradas.

10.2.10 Ritos y Fiestas

Una de las fiestas que celebra los municipios del sur del Tolima es la fiesta de San Juan en la semana del 24 de junio siendo esta fecha el día del Tamal y San pedro en la semana del 29 de junio siendo esta fecha especial el día de la Lechona, además como costumbre religiosa celebran el 16 de junio el día de la virgen del Carmen, el 29 de septiembre el día de San Rafael.

10.2.11 Principales medios de comunicación

Fueron referenciadas para la zona, los siguientes medios de comunicación, que de acuerdo a lo manifestado por la población es un medio muy efectivo para mantenerlos informados, como se visualiza en la Tabla 56.

Tabla 56. Medios de comunicación que se encuentran en la zona de estudio - Referenciados por las comunidades.

Medio De Comunicación	Frecuencia
Emisora crit 98.0 de Ortega	6
Celular	6
Tv nacional	6
Emisora bésame de Ibagué	2
Señal Colombia	1
Calor Estéreo	1
Olímpica estéreo	2
Carteleras	2
Internet	1
Kiosco digital	1
Emisora comunitaria calor estéreo de purificación	1
Cariñosa	1
Tropicana	1

Fuente: Elaboración propia a partir de talleres de cartografía social. Proagua, 2018.

10.2.12 Líderes representativos de la comunidad

Se identificaron:

Presidentes de Junta de Acción Comunal.

Gobernadores Indígenas.

Que comités existen en las Juntas de Acción Comunal

- Comité de trabajo.
- Comité de deportes.
- Comité conciliador.

- Comité de medio ambiente.
- Comité de educación.
- Comité de obras.
- Comité de cultura.
- Comité de canalización.

10.3 Identificación de problemas del recurso hídrico en el área objeto de estudio

Dentro de los talleres de Diagnostico participativo realizados con las diferentes comunidades en el área de influencia del proyecto, en su segunda parte se aplicó la metodología "el árbol de problemas", lo que permitió que la comunidad identificara como principal problemática para la zona: "Que no tienen Agua Potable", como se registra a continuación en la Tabla 57 identificación de problemas en los talleres realizados por municipio en la zona de estudio.

Tabla 57. Resultado de los talleres de diagnóstico participativo realizados en la zona de estudio.

Municipio	Fecha	Resultados Problemas relevantes	Prticipantes	Registro Fotografico
Coyaima	15-03-18	Los participantes manifiestan que los principales problemas en el sector son las Sequias, Contaminación del agua por químicos en los cultivos, Tala de árboles, Invasión y explotación minera, No hay manejo de residuos sólidos, Cambio climático, No hay manejo de aguas residuales, No hay alcantarillado, Crecimiento de la población en la parte rural.	48	

Tabla 51. Resultado de los talleres de diagnóstico participativo realizados en la zona de estudio. (Continuación).

Municipio	Fecha	Resultados Problemas relevantes	Prticipantes	Registro Fotografico
Natagaima	06-04-18	Los actores participantes identifican como problemas relevantes las Sequias en tiempo de verano de los meses de junio, julio y agosto, No contamos con una planta de tratamiento de agua para el consumo, No hay saneamiento básico en la zona rural, Cambio climático, Falta de apoyo de las instituciones a las comunidades de la zona rural, Falta de concientización ambiental por parte de la comunidad.	48	
Ortega	22-03-18	Dentro de los problemas más relevantes la comunidad identifico la Falta de acueducto en la zona rural, Falta de unidades sanitarias, los pocos acueductos no tienen tratamiento del agua, Contaminación del agua por aguas residuales, Sequias, Contaminación por las empresas petroleras, No hay manejo de residuos sólidos, Desconocimiento de las normas, No hay control de uso de agua, Calentamiento global, Enfermedades por la contaminación del agua.	26	

Tabla 51. Resultado de los talleres de diagnóstico participativo realizados en la zona de estudio. (Continuación).

Municipio	Fecha	Resultados Problemas relevantes	Prticipantes	Registro Fotografico
Prado	14-03-18	Los actores participantes identificaron como problemas importantes la Falta De Manejo Del Acueducto, Falta de veedurías ciudadanas para el recurso hídrico, No hay agua potable, No hay acueducto en la zona rural, Desconocimiento de la ruta de acción de problemas del agua, Tala de árboles, No hay manejo de residuos sólidos, Malas prácticas agrícolas, Perforación por petroleras.	34	
Purificación	05-04-18	Los participantes identificaron como problemas importantes la Falta de Capacitación a líderes, Desconocimiento de la normatividad, falta de mantenimiento a los acueductos veredales, no hay Tratamiento de aguas para el consumo humano, Sequias en época de verano se secan las fuentes hídricas y los ojos de agua, Contaminación por químicos por los cultivos, Las empresas petroleras han ocasionado muchos problemas a los recursos naturales.	43	

Tabla 51. Resultado de los talleres de diagnóstico participativo realizados en la zona de estudio. (Continuación).

Municipio	Fecha	Resultados Problemas relevantes	Prticipantes	Registro Fotografico
Saldaña	01-03-18	Los actores participantes identifican como problemas importantes las Sequias por el cambio climático, no hay agua potable, no hay manejo de residuos sólidos en la zona rural, contaminación del agua por los cultivos de arroz.	29	
Suarez	23-03-18	Los participantes identifican como problemas importantes las Sequias, Escases de agua, Contaminación del agua, del suelo, aire por la parte de la petrolera Hocol especialmente en la vereda las Mesas se cambió todo su ecosistema, Tala de árboles, Inadecuado manejo de recursos, No hay tratamiento de agua, No hay agua potable, No hay veedurías ciudadanas, Desconocimiento de la normatividad, Falta de capacitación y concientización.	30	
Guamo	12-05-18	Los actores participantes en la identificación de problemas afirmaron que No hay agua potable, no hay acueducto solo se utiliza el agua de los aljibes, sequias por el cambio climático, no hay manejo de residuos sólidos, contaminación del agua por los químicos de los cultivos de arroz, desconocimiento de la normatividad referente al manejo del recurso hídrico.	15	

Fuente: Elaboración propia. Proagua, 2018.

En la Tabla 58 se plasma las cusas y efectos de la problemática detectada en los talleres con las diferentes comunidades asentadas en el área de influencia.

Tabla 58. Relación causas y efectos de la problemática detectada con los actores en los talleres de diagnóstico.

Causas
Contaminación por químicos y empresas industriales.
Falta de concientización de la comunidad.
Calentamiento global.
Contaminación por químicos de cultivos y explotación minera.
Contaminación por residuos, por agua residuales, por empresas industriales.
Deforestación.
Desconocimiento de la norma que enmarca lo concerniente al recuro hídrico.
Enfermedades por contaminación del agua que consumen.
Falta de apoyo institucional.
Falta de capacitación.
Falta de conciencia ambiental.
Falta de cultura de la comunidad.
Falta de programas institucionales gubernamentales.
Falta de veedurías ciudadanas, falta de apoyo institucional, no hay compromiso administrativo.
Manejo inadecuado de residuos sólidos.
No hay acueducto o están en mal estado.
No hay alcantarillado.
No hay protección de fuentes hídricas
No hay recursos económicos por parte de las administraciones municipales para programas y proyectos ambientales y de saneamiento básico.
No hay saneamiento básico.
No hay tierra acta para cultivos.
Presencia de empresas mineras e industriales.
Malas prácticas en cultivos. (quemas)
Sequias por calentamiento global, cambio climático.
Tala de árboles
No hay Tratamiento ni mantenimiento de acueductos.

Tabla 52. Relación causas y efectos de la problemática detectada con los actores en los talleres de diagnóstico. (Continuación).

Efectos
Agua para el consumo humano contaminada.
Baja calidad de vida.
Calentamiento global.
Contaminación del suelo y las fuentes hídricas.
Degradación de los recursos naturales.
Deslizamientos.
Desnutrición.
El agua contaminada
Enfermedades desnutrición.
Falta de comida.
Falta de oportunidades.
Ignorancia.
Los animales se mueren en sequía.
Migración de la población por falta de agua.
No hay agua.
No hay un control no conocimiento de la ejecución de recursos por falta e veedurías ciudadanas.
No se ejecutan los recursos.
Perdida capa vegetal.
Pobreza.
Poder de empresas mineras.
Problemas ambientales.
Quemas.
Se acabaron los ríos.
Sequias.
Suelos contaminados.
Tratamiento y control de uso del agua.
Unidades sanitarias.

Fuente: Elaboración propia. Proagua, 2018.

Como principales agentes contaminantes la comunidad manifiesta que es el hombre, con las diferentes actividades que realiza que han venido contaminando y acabando con el recurso hídrico del acuífero, en la Tabla 59 se evidencia el por qué se está contaminando el agua del acuífero, en que época del año sufren más por el agua y que les pasa a las fuentes hídricas en el tiempo de verano.

Tabla 59. Porque se contamina y efectos.

¿Por qué se contamina el agua?	Época del año que falta el agua	Que le pasa a las fuentes hídricas en el tiempo de verano
Cultivos y explotación minera	Julio y agosto	Baja el nivel del agua en las fuentes hídricas
Por funcionamiento de Fábricas y empresas de hidrocarburos como Hocol	Julio – agosto y septiembre	Se sufre por falta de agua
Practicas inadecuadas en Cultivos y explotación minera y de petróleo	Enero- febrero -julio	En verano se secan total las quebradas
Contaminación por residuos solidos	Agosto - noviembre	Contaminación y perdida de agua potable
Monocultivos (Cultivos de arroz)	Todo el año	Contaminación y perdida de agua potable
Actividades humanas (mala disposición de residuos sólidos y aguas residuales)	Todo el año	Contaminación y perdida de agua potable
Quemas los cultivos	Todo el año	Contaminación y perdida de agua potable
No hay saneamiento básico en la zona rural	Todo el año	Contaminación y perdida de agua potable
Contaminación por plaguicidas	Todo el año	Contaminación y perdida de agua potable
Contaminación de aljibes por pozos séptico	Todo el año	Contaminación y perdida de agua potable
El agua de los aljibes es salada	Todo el año	Contaminación
No hay recolección de basuras	Todo el año	Contaminación
Tala de arboles	Todo el año	Acaba con el agua
Los aljibes de purificación se secaron	Todo el año	Perdida del agua

Fuente: Elaboración propia. Proagua, 2018.

10.3.1 Problemas identificados por la comunidad sobre el recurso hídrico en cada uno de los municipios área de influencia

10.3.1.1 Municipio de Coyaima

Para el caso de este municipio los actores identificaron las actividades contaminantes para el acuífero relacionadas en la Tabla 60 a continuación:

Tabla 60. Problemas identificados por los actores del Municipio de Coyaima.

MUNICIPIO DE COYAIMA

Actividades contaminantes	Líneas de Proyectos	Efectos	Fines	Solución
1. Contaminación del agua por químicos en cultivos, las malas prácticas agrícolas en sus cultivos. 2. Tala de árboles. 3. Invasión y explotación minera. 4. No hay manejo de residuos sólidos. 5. Cambio climático. 6. No hay manejo de aguas residuales, falta de saneamiento básico en la zona rural. 7. No hay alcantarillado. 8. Crecimiento de la población. 9. Sequias por cambio climático en los meses de julio, agosto, septiembre, en esta época del año se secan las fuentes hídricas superficiales y solo se abastecen de los aljibes.	1. Que las Instituciones tengan mecanismos para hacer cumplir las normas a las empresas que están acabando con los recursos naturales. 2. Programas de reforestación y protección de las fuentes hídricas. 3.Capacitación a las comunidades en diferentes temas (normatividad del recurso hídrico, trabajo comunitario, proyectos productivos, saneamiento básico) 4. Inversión del estado para manejo de residuos sólidos. 5. Proyecto de alcantarillado y mejoramiento de acueductos veredales.	1. Enfermedades. 2. Baja calidad de vida. 3. Sequias. 4. Degradación de los recursos naturales. 5. No hay comida. 6. Los animales se mueren en sequía. 7. Migración de la población por falta de agua.	1. Mejorar la calidad de vida. 2. Disminuir la contaminación. 3. Conocimiento de la normatividad que enmarca el recurso hídrico. 4. Disminuir enfermedades.	**"TENER AGUA POTABLE PARA UNA MEJOR CALIDAD DE VIDA"**

Fuente: Elaboración propia. Proagua, 2018.

10.3.1.2 Municipio De Purificación

Para el caso de este municipio los actores identificaron las actividades contaminantes para el acuífero relacionadas en la Tabla 61 a continuación:

Tabla 61. Problemas identificados por los actores en el Municipio de Purificación.

MUNICIPIO DE PURIFICACION				
Actividades contaminantes	**Líneas de Proyectos**	**Efectos**	**Fines**	**Solución**
1. Falta de capacitación líder en temas acorde con el recurso hídrico. 2. Desconocimiento de la normatividad. 3. Falta de mantenimiento de acueductos en la zona vereda. 4. No hay tratamiento de aguas para el consumo humano. 5. Sequias en época de verano se secan las fuentes hídricas y los ojos de agua. 6. Contaminación por químicos aplicados a los cultivos de arroz. 7. Las empresas petroleras han ocasionado muchos problemas a los recursos naturales sobre todo a las fuentes hídricas. 8. Mal estado de vías de acceso. 9. No hay manejo de residuos sólidos, en la zona rural queman la basura. 10. Falta de apoyo institucional en programas, proyectos y problemas de las comunidades. 11. Tala de árboles. 12. Desviación de presupuestos y regalías en las administraciones municipales. 13. Falta de saneamiento básico. 14. No hay conservación y protección de las fuentes hídricas.	1. Capacitación y concientización. 2. Conservación recursos naturales. 3. Reforestación. 4. Protección Nacimiento. 5. Plan de manejo y tratamiento de agua. 6. Implementación de normas y rutas.	1. Agua contaminada. 2. Enfermedades desnutrición. 3. Pobreza. 4. Falta de alimento. 5. Suelos contaminados. 6. Falta de oportunidades.	1. Conservación de recursos naturales. 2. Empoderamiento de la comunidad. 3. Mayor abastecimiento de agua.	"**QUE LAS COMUNIDADES TENGAN AGUA POTABLE PARA EL CONSUMO**"

Fuente: Fundación Proagua, (2018).

10.3.1.3 Municipio De Natagaima

Para el caso de este municipio los actores identificaron las actividades contaminantes para el acuífero relacionadas en la Tabla 62 a continuación:

Tabla 62. Problemas identificados por los actores en el Municipio de Natagaima.

MUNICIPIO DE NATAGAIMA				
Actividades contaminantes	**Líneas de Proyectos**	**Efectos**	**Fines**	**Solución**
1. Sequias en tiempo de verano en los meses de junio, julio, agosto. 2. Falta de capacitación en temas ambientales. 3. No contamos con una planta de tratamiento de agua. 4. No hay agua potable en la zona urbana ni rural. 5. No hay saneamiento básico en la zona rural. 6. Falta de recolección de basuras zona rural. 7. Cambio climático. 8. Falta de programas de reforestación. 9. No hay oportunidades de empleo. 10. Vías terciarias en mal estado. 11. Falta de apoyo de las instituciones a las comunidades rurales. 12. Falta de concientización ambiental.	1. Capacitación y concientización. 2. Conservación recursos naturales. 3. Reforestación. 4. Protección Nacimiento. 5. Plan de manejo y tratamiento de agua. 6 .Implementación de normas y rutas.	1. Enfermedades. 2. Contaminación de agua. 3. Sequias. 4. Falta de alimentos. 5. Pobreza.	1.Conservación de recursos naturales. 2.Empoderamiento de la comunidad. 3. Mayor abastecimiento de agua.	**"CONTAR CON AGUA Y POTABLE PARA LAS COMUNIDADES"**

Fuente: Elaboración propia. Proagua, 2018.

10.3.1.4 Municipio De Suarez

Para el caso de este municipio los actores identificaron las actividades contaminantes para el acuífero relacionadas en la Tabla 63 a continuación:

Tabla 63. Problemas identificados por los actores en el Municipio de Suárez.

MUNICIPIO DE SUÁREZ				
Actividades contaminantes	**Líneas de Proyectos**	**Efectos**	**Fines**	**Solución**
1.Sequias. 2.Escases de agua. 3.Contaminación del agua, del suelo, aire por la parte industrial. 4.Tala d árboles. 5.Caza De Animales Silvestres. 6.Inadecuado manejo de recursos. 7.No hay tratamiento de agua. 8.No hay agua potable. 9.No hay veedurías ciudadanas. 10.Desconocimiento de la normatividad 11.Falta de capacitación y concientización. 12No hay estímulos.	1.Reforestación. 2.Concientización a la comunidad. 3.Protección, fortalecimiento y manejo del recurso hídrico. 4.Capacitación normatividad. 5.Estrategias de conservación del recurso hídrico.	1.Sequias. 2.Perdida capa vegetal. 3.Contaminación del agua y suelo. 4.Enfermedades, 5.Desnutrición. 6.Falta d capacitación. 7.Calentamiento global.	1.Mejoramiento de quebradas y nacimientos. 2.Manejo de residuos sólidos. 3.Cambio de actitud. 4.Mejor salud. 5.Mejor calidad de vida.	**"POTABILIZAR EL AGUA PARA UNA MEJOR CALIDAD DE VIDA"**

Fuente: Elaboración propia. Proagua, 2018.

10.3.1.5 Municipio De Prado

Para el caso de este municipio los actores identificaron las actividades contaminantes para el acuífero relacionadas Tabla 64 a continuación:

Tabla 64. Problemas identificados por los actores en el Municipio de Prado.

MUNICIPIO DE PRADO				
Actividades contaminantes	**Líneas de Proyectos**	**Efectos**	**Fines**	**Solución**
1.Falta De Manejo Del Acueducto. 2.Falta de veedurías ciudadana. 3.Desviación de recursos. 4.No se cuenta con recursos económicos. 5.No hay agua potable. 6.No hay acueducto. 7.Desconocimiento de la ruta de acción de problemas del agua. 8.Tala de árboles. 9.No hay manejo de residuos sólidos. 10.Malas prácticas agrícolas. 11.Perforación por petroleras. 12.No hay rotación de cultivos. 13.No hay planta de tratamiento. 14.Diseñar proyectos.	1.Programas de capacitación. 2.Realizar alianzas con entidades para aunar esfuerzos. 4.Hacer aplicar la normatividad ambiental. 5.Programas de reforestación. 6.Programas de reciclaje. 7.Generar proyectos ambientales.	1.Quemas. 2.Sequias. 3.Contaminación del suelo y las fuentes hídricas. 4.Ignorancia. 5.No se ejecutan los recursos. 6.No hay un control no conocimiento de la ejecución de recursos por falta e veedurías ciudadanas.	1.Cumplir las normas. 2.Hacer programas de reforestación para la conservación y protección de fuentes hídricas. 3.Que la comunidad disminuya la producción de residuos sólidos. 4.Que los recursos se ejecutes.	**"TENER Y CONSERVAR EL AGUA PARA LA COMUNIDAD DE PRADO"**

Fuente: Elaboración propia. Proagua, 2018.

10.3.1.6 Municipio De Ortega

Para el caso de este municipio los actores identificaron las actividades contaminantes para el acuífero relacionadas en la Tabla 65 a continuación:

Tabla 65. Problemas identificados por los actores en el Municipio de Ortega.

MUNICIPIO DE ORTEGA				
Actividades contaminantes	**Líneas de Proyectos**	**Efectos**	**Fines**	**Solución**
1.Falta de acueducto. 2.Falta de unidades sanitarias. 3.No hay tratamiento de agua. 4.Contaminación del agua por las aguas residuales. 5.Sequias. 6.Contaminación por las empresas petroleras. 7.No hay manejo de residuos sólidos. 8.Desconocimiento de las normas. 9.No hay control de uso de agua. 10.Calentamiento global. 11.Enfermedades.	1.Reforestación. 2.Educar a la comunidad. 3.Manejo de residuos sólidos. 4.Cumplimiento y control de la norma. 5.Diseñar proyectos ambientales. 6.Mejorar calidad de vida. 7.Disminuir enfermedades.	1.Tratamiento y control de uso del agua. 2.Enfermedades. 3.Poder empresas mineras. 4.Problemas ambientales. 5.Unidades sanitarias.	1.La protección de las fuentes hídricas. 2.Concientizacion de la comunidad. 3.Manejo de residuos sólidos. 4.Cumplimiento y control de la norma. 5.Mejorar calidad de vida. 6.Disminuir enfermedades.	**"CONSUMIR AGUA POTABLE PARA MEJOR CALIDAD DE VIDA"**

Fuente: Elaboración propia. Proagua, 2018.

10.3.1.7 Municipio De Saldaña

Para el caso de este municipio los actores identificaron las actividades contaminantes para el acuífero relacionadas en la Tabla 66 a continuación:

Tabla 66. Problemas identificados por los actores en el Municipio de Saldaña.

MUNICIPIO DE SALDAÑA				
Actividades contaminantes	**Líneas de Proyectos**	**Efectos**	**Fines**	**Solución**

1.No hay tratamiento de aguas residuales. 2.Problemas de resolución de basuras. 3.No hay agua potable. 4.Malas prácticas de manejo de cultivos (quema de tamo del arroz). 5.Falta de unidades sanitarias. 6.Contaminación de las canales con basura y elementos químicos del arroz.	1.Proyectos para la construcción de una planta de tratamiento. 2.Capacitacion a las comunidades. 3.Capacitacion en cultivos limpios. 4.Programas de saneamiento básico. 5.Fortalecer los proyectos PRAE. 6.Emprendimiento a través de negocios verdes.	1.Enfermedades 2.Ignorancia de la comunidad. 3.Contaminacion y deterioro de los suelos.	1.Mejorar la calidad de vida. 2.Insentivar y motivar a la comunidad. 3. Disminuir las enfermedades.	**"TENER AGUA Y POTABLE PARA MEJORAR LA CALIDAD DE VIDA DE LA POBLACIÓN"**

Fuente: Elaboración propia. Proagua, 2018.

10.3.1.8 Municipio Del Guamo

Para el caso de este municipio los actores identificaron las actividades contaminantes para el acuífero relacionadas en la Tabla 67 a continuación:

Tabla 67. Problemas identificados por los actores en el Municipio del Guamo.

MUNICIPIO DE GUAMO				
Actividades contaminantes	**Líneas de Proyectos**	**Efectos**	**Fines**	**Solución**
1.No hay agua potable. 2.No hay acueducto solo se utiliza el agua de los aljibes. 3.Sequias por el	1.Hacer planes de manejo para los acueductos 2.Tener veedores y vigilancia de recursos. 3.Programas de	1.Enfermedades 2.Falta de conocimiento de la normatividad por parte de la comunidad. 3.Contaminacio n y deterioro de	1.Mejorar la calidad de vida. 2.Organizar y empoderar a las comunidades 3.Compromiso de trabajo en	**"TENER UN PLAN DE MANEJOADECUADO DE UN ACUEDUCTO PARA TENER AGUA POTABLE"**

cambio climático. 4. No hay manejo de residuos sólidos. 5.contaminación del agua por los químicos de los cultivos de arroz. 6.desconocimiento de la normatividad referente al manejo del recurso hídrico.	Capacitación. 4.Programas de saneamiento básico. 5.Emprendimiento a través de negocios verdes.	los suelos. 4.Contaminacion de las fuentes hídricas.	equipo. 4. mejorar los nacimientos de las fuentes hídricas. 5. Hacer un trabajo interinstitucional	

Fuente: Elaboración propia. Proagua, 2018.

10.3.2 Perspectivas generales de los actores

Con el desarrollo de los talleres de diagnóstico anteriormente mencionados, se aporta a la información del diagnóstico hidrogeológico además de construir con los diferentes actores sus apreciaciones sobre las actividades que pueden generar amenazas y los escenarios deseables sobre mismo.

Producto del diagnóstico participativo, se logró dimensionan las perspectivas de los actores involucrados en los municipios donde se circunscribe el acuífero del Sur del Tolima, los cuales corresponden a Coyaima, Natagaima, Ortega, Purificación, Prado, Saldaña, Suarez, San Luis, Guamo del departamento de Tolima, frente a los temas que sustentan el Plan de Manejo Ambiental del Acuífero del Sur del Tolima.

Conforme al trabajo realizado con actores en el marco de la fase de diagnóstico. Se evidencia de manera relevante que actores institucionales, empresas de servicios públicos, gremios, usuarios, los actores comunitarios y las comunidades indígenas ven la importancia del agua subterránea como una posibilidad de uso frente a los fenómenos climáticos que vive hoy el país del cual no son ajenos los municipios del Tolima; sufriendo temporadas muy largas de verano donde la mayoría de las fuente hídricas superficiales han llegado a su desecamiento total; manifestando en este mismo sentido que el Acuífero del Sur del Tolima es el único recurso hídrico que los surte sobre todo en el sector de los municipios de Purificación, Coyaima y Ortega, en especial los usuarios del área rural.

10.3.3 Proyecciones de uso del recurso

En relación de la proyección de uso del recurso hídrico especialmente las aguas subterráneas en la zona del Acuífero del Sur del Tolima, tenemos:

-En los municipios de Coyaima, Natagaima y Purificación, el Distrito de Riego del Triángulo del Tolima, este proyecto se inició en el año de 2008 con la formulación del plan agropecuario a implementarse en el Distrito de Riego, conformado por la construcción de 4 sectores de riego, que incluye el desarrollo de obras de infraestructura en lo que tiene que ver con canales y otras adecuaciones en riego, los actores participantes expresaron que este proyecto los ha beneficiado en gran manera en su economía siendo vital para las comunidades que habitan la zona, especialmente las comunidades indígenas.

-Usocoello Distrito de Riego de Coello y Saldaña**,** tiene la bocatoma en el sitio denominado Puerto de Santa Marta, de allí nace el canal mayor "Ospina Pérez", este tiene una extensión de 13 kilómetros contados hasta el sitio denominado bifurcación. Antes del sitio bifurcación se deriva dos canales que se dirigen a diferentes zonas de los municipios de Saldaña y Purificación. La cantidad de agua que entra al canal principal es de 25 a 30 m^3/s.

El "Distrito de riego del Río Saldaña" beneficia al municipio de Saldaña y al municipio de Purificación, dentro de los aspectos físicos se puede destacar que el área de influencia del distrito en el Municipio es de 37.000 ha de las cuales son beneficiadas únicamente 14.000 ha para los cultivos de arroz.

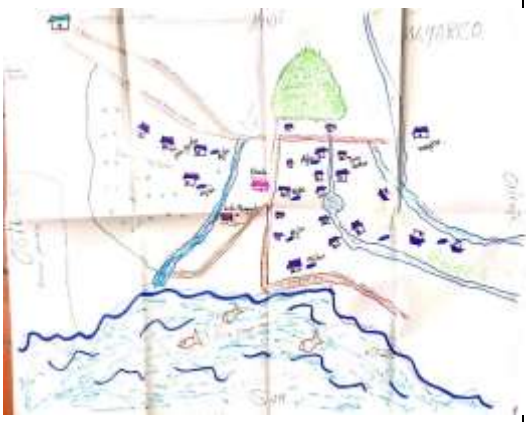
-Central hidroeléctrica ubicada en el municipio de Prado, El embalse de Prado tiene una capacidad para almacenar 966,22 millones de metros cúbicos de agua y su extensión es de 42 kilómetros cuadrados. La planta, que tiene una capacidad de generación de 51 MW, cuenta con cuatro unidades de generación. A través de esta central hidroeléctrica, se genera turismo y otras actividades asociadas a la existencia del embalse, cifra que en temporada alta se incrementa sustancialmente. Tanto la planta como el embalse de Prado se encuentran ubicados en la región centro-oriente del departamento del Tolima, en la vertiente occidental de la cordillera Oriental a 4 kilómetros de la cabecera municipal del Prado.

- En los municipios de Natagaima, Coyaima y Ortega se encontró un alto porcentaje de aljibes y pozos profundos que utilizan las comunidades para el suministro de agua para el consumo humano, de igual manera las administraciones municipales tienen proyectos de acueductos comunitarios implementados por pozos profundos.

10.4 Cartografía social generada por actores

A continuación, en las Tabla 68Tabla 69Tabla 70, Tabla 71Tabla 72 se plasma los resultados del trabajo realizado por los actores en cada uno de los talleres por municipio, vereda y comunidades indígenas asentados en el área de estudio.

Tabla 68. Cartografía social generada por los actores en los Municipios de Coyaima, Natagaima. Y Ortega

CARTOGRAFÍA SOCIAL GENERADA	
MUNICIPIO: COYAIMA	
Vereda: Vereda Amayarco	
Los participantes plasmaron el en el mapa: -escuela primaria. -vías de acceso carreteras y caminos de herradura. - algunas viviendas tienen pozo séptico, y otras letrinas, otras utilizan el espacio abierto. - cultivan cachaco, frutales, maíz. - tienen una sede del resguardo. - colindan con la represa zanja honda la comunidad dice que el agua es contaminada que los pescados saben a feo y no utilizan su agua. Cuentan con las fuentes hídricas como Quebradas Amayarco, Guali, pajuil. -colinda con el cerro de san pedro.	

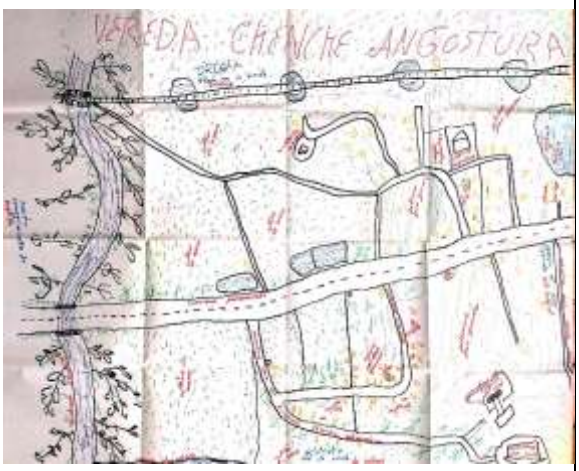
Fuente: Elaboración propia. Proagua, 2018.

Tabla 62. Cartografía social generada por los actores en los Municipios de Coyaima, Natagaima. Y Ortega. (Continuación).

MUNICIPIO: COYAIMA	
Vereda: Buena Vista	
Los Participantes Plasmaron en el mapa - cuentan con una sede de escuela primaria. -tienen una capilla evangélica. - hay una casa utilizada como sede del resguardo. - cuentan con acueducto. - cultivan plátano. - hay ganadería. -cuentan con fuentes hídricas como Quebradas coya, rio Saldaña, rio chenche. - por su territorio pasa una canal principal del triángulo del Tolima. - cocinan con leña. - algunas viviendas tienen letrina en otras utilizan el espacio abierto para sus necesidades.	
MUNICIPIO COYAIMA	
Vereda: Buenos Aires	
Los participantes plasmaron en el mapa: -cuentan con una sede donde funciona la escuela y el colegio de bachillerato. - la mayoría de las viviendas cuentan con aljibes. -tienen cultivos de maíz, yuca, cachaco. - la base de su economía es el jornal. -cocinan con leña. -cuentan con las fuentes hídricas quebradas hincha, Moyon, minera y pinoso. -cuentan con vías de acceso. -en su vereda tienen algunas tiendas. -cuentan con una cancha de futbol. -colinda con la vía castilla. -tienen cría de ovejas. -tiene una sede donde funciona el resguardo.	

Fuente: Elaboración propia. Proagua, 2018.

Tabla 62. Cartografía social generada por los actores en los Municipios de Coyaima, Natagaima. Y Ortega. (Continuación).

MUNICIPIO: COYAIMA	
Vereda: Chenche Angosturas	
Los participantes plasmaron en el mapa: -cuentan con escuela primaria. -tiene acueducto. -tiene una sede del resguardo. - cuentan con cultivos de arroz. -tienen vías de acceso. - practican la ganadería. -tienen un campo deportivo. -cuentan con la laguna Mingo. -por su territorio pasa la quebrada chenche. -algunas viviendas tiene aljibes cuando no hay agua por el acueducto los usan. -sus viviendas cuentan algunas con pozos sépticos y letrinas.	
MUNICIPIO: COYAIMA	
Vereda: Chenche Balsillas	
Los participantes plasmaron en el mapa: -tiene 1.200 habitantes. - tienen escuela primaria. - colegio de bachillerato. -tienen vías de acceso. -tienen cultivos de cachaco, frijol, maíz y yuca. -crían ovejas. -tienen ganado. -tiene aljibes. -pozos séptico. -cocinan con leña. -tienen señal de movistar y claro. -tienen un proyecto con Cortolima de reforestación. -colindan con la represa zanja honda. - quebrada Tanarco.	

Fuente: Elaboración propia. Proagua, 2018.

Tabla 62. Cartografía social generada por los actores en los Municipios de Coyaima, Natagaima. Y Ortega. (Continuación).

MUNICIPIO: COYAIMA	
Vereda: Chenche Media Luna	
Los participantes plasmaron en el mapa: -escuela primaria. - cultivan cachaco y sacan las hojas para la venta. - tienen ganado lechero. -tienen pozos y aljibes. -Tienen pozos sépticos. -cocinan con leña o cilindro de gas. -por su vereda cruza una canal de riego. - hay carretera. - tienen polideportivo. -sede resguardo. -rio chenche. - quebrada Rosaura.	
MUNICIPIO: COYAIMA	
Chenche Zaragoza	
Los participantes plasmaron en el mapa tienen escuela primaria. - tienen ganadería. - el agua la toman de los aljibes. - tienen pozo séptico. - cocinan con leña. - el canal que va a la represa zanja honda cruza la vereda. - tienen los ríos chenche y Zaragoza, quebrada Socorro - tienen una vía de acceso. - tienen huerta casera. - en su vereda está ubicado el cerro de san Pelao.	

Tabla 62. Cartografía social generada por los actores en los Municipios de Coyaima, Natagaima. Y Ortega. (Continuación).

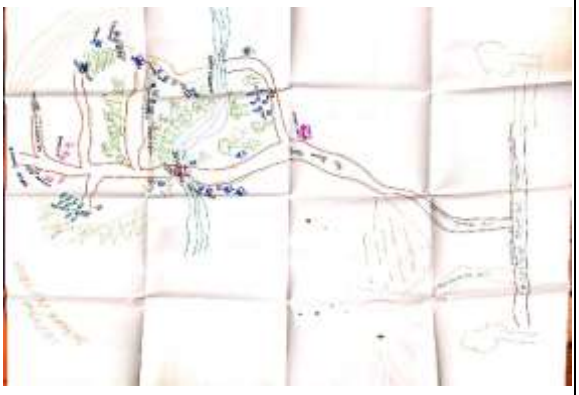
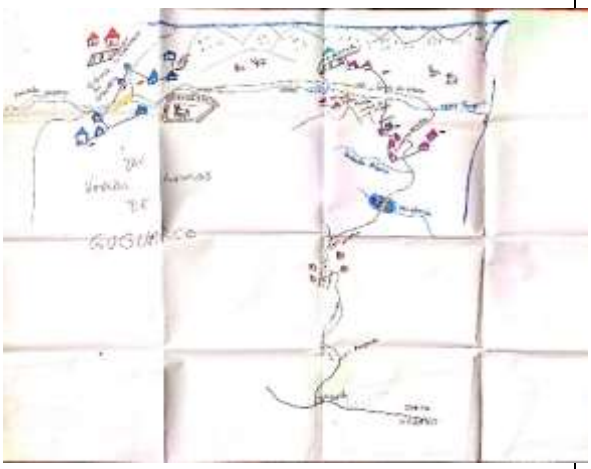
MUNICIPIO: COYAIMA	
Vereda Doyare Centro	
Los participantes Plasmaron en el mapa: -escuela de primaria. -tiene sede del cabildo. - cuentan con aljibes. - cultivan cachaco y limón. - tienen vías de acceso. - tienen quebrada Doyare. - cocinan con leña. - tienen pozos sépticos o espacio abierto.	
MUNICIPIO: COYAIMA	
Vereda: Lomas de Guaguarco	
Los participantes plasmaron en el mapa: -tienen escuela primaria. -tienen acueducto en regular estado. - tienen aljibes y nacimientos. - capilla evangélica. -tienen ganadería. -Cultivos de yuca, cachaco y frutales. -hacen artesanías. -tienen electricidad. - cuentan con las Quebradas el obispo, quebrada la jabonera, Lilirco, Palozaboza, de los muertos, Hilarquito, todas están secas. -tienen una sede comunitaria. -realizaron una reforestación silvopastoril. - tienen una casa indígena.	

Tabla 62. Cartografía social generada por los actores en los Municipios de Coyaima, Natagaima. Y Ortega. (Continuación).

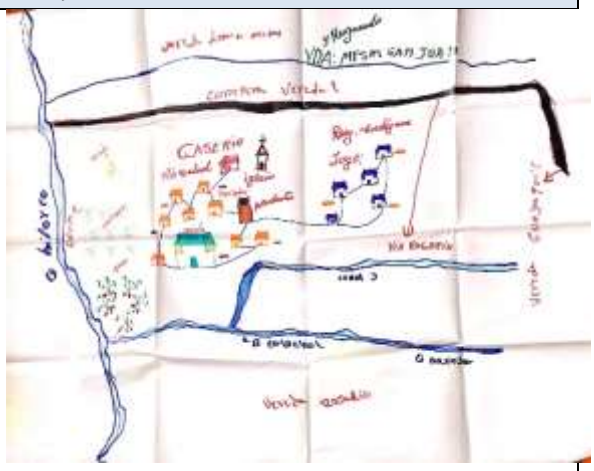
MUNICIPIO: COYAIMA	
Vereda: Mesas de Inca	
Los participantes plasmaron en el mapa: -escuela primaria. -tienen vía de acceso. -tienen acueducto. -tienen ganadería y porcicultura. -cultivan cachaco, maíz y limón. - quebrada la greda. - tienen pozo séptico.	
MUNICIPIO: COYAIMA	
Vereda: Mesas de San Juan	
Los participantes plasmaron en el mapa: - escuela primaria. -tienen vía de acceso. -cultivan maíz, cachaco y fruta. -tienen pozo séptico. -tienen iglesia. -quebradas Colochal y arenosa. -cuentan con un canal de riego terciario del triángulo del Tolima. -hay puesto de salud, pero no está funcionando	

Tabla 62. Cartografía social generada por los actores en los Municipios de Coyaima, Natagaima. Y Ortega. (Continuación).

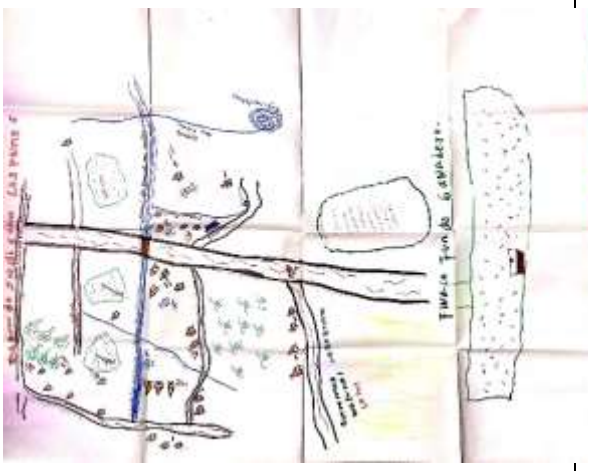
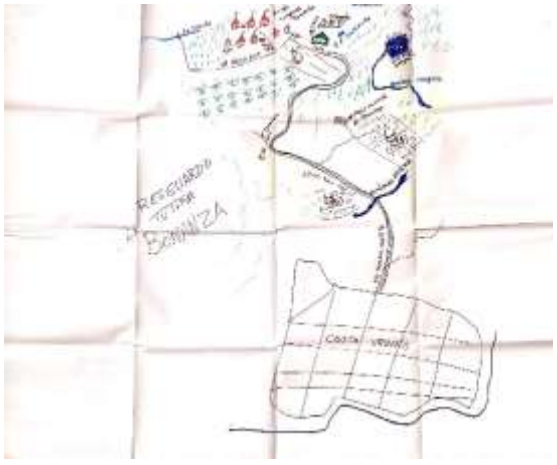
MUNICIPIO: COYAIMA	
Resguardo Indígena Las Palmas	
Los participantes plasmaron en el mapa: -tienen escuela primeria. -cuentan con carretera por donde transitan motos y carros. - tienen cultivos de cachaco y limón. - cuentan con señal de movistar y claro. - tienen pozo séptico y letrinas. -el agua para el consumo humano es de aljibes. - tienen las quebradas el sapo, aceituno y piñuela. -tienen reservorios para los arboles cuando no hay agua. -cruza un canal de riego por su vereda	
MUNICIPIO: COYAIMA	
Resguardo La Titura Vereda La Bonanza	
Bonanza Los participantes plasmaron en el mapa: -escuela primaria. -tiene vías de acceso. -cultivan cachaco, maíz, arroz. -Hay ganadería. -minería. -letrina, pozo séptico y espacio abierto. -tienen aljibes. -en esta vereda el carro recolector arroja las basuras de la parte urbana causando grave problema ambiental, eta afectando el nacimiento de la quebrada Zaragoza. -utilizan leña y gas en cilindro para cocinar. -quebradas Matapala, Zaragoza. -rio chenche.	

Tabla 62. Cartografía social generada por los actores en los Municipios de Coyaima, Natagaima. Y Ortega. (Continuación).

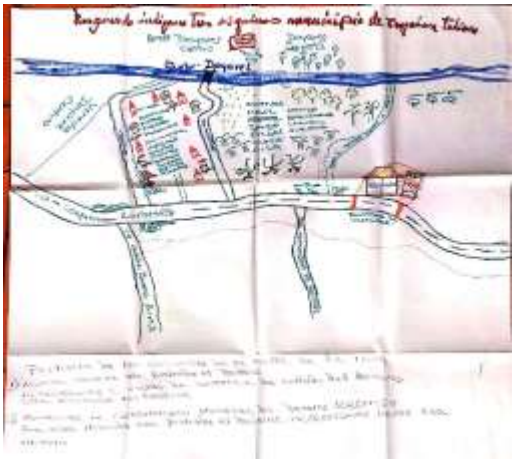
MUNICIPIO: COYAIMA	
Vereda Santa Martha Diamante	
Los participantes plasmaron en el mapa: - escuela primaria, pero está cerrada. -tienen vías de acceso. -cultivan yuca, cachaco. -tienen ganadería. -tienen aljibes. -pozos sépticos. -cocinan con leña -tienen señal de movistar y calro. -la vía para el resguardo es una trocha.	
MUNICIPIO: COYAIMA	
Vereda: Tres Esquinas	
Los participantes plasmaron en el mapa: -cultivan maíz, arroz, limón. -tienen una población de 760 habitantes. -tienen aljibes. -cocinan con leña o cilindro. -tienen escuela. -tienen vía de acceso. -tienen pozo séptico. -quebrada Doyare. -tienen iglesia cristiana. -mina de oro.	

Tabla 62. Cartografía social generada por los actores en los Municipios de Coyaima, Natagaima. Y Ortega. (Continuación).

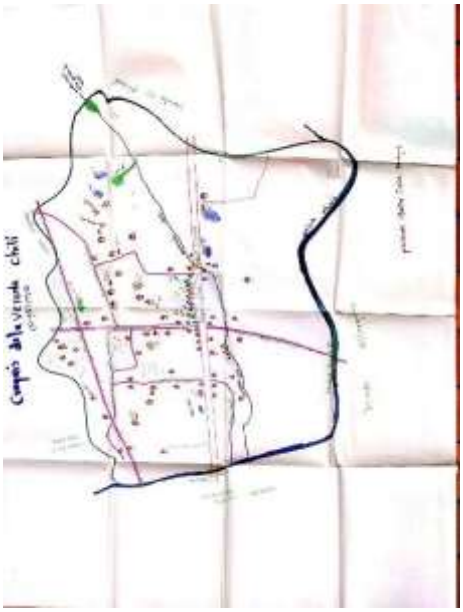
MUNICIPIO: COYAIMA	
Vereda: Chile	
Los participantes plasmaron en el mapa: - escuela primaria. -tiene vías de acceso. -cultivan maíz, yuca, frijol, limón, mango. -tienen aljibes. -tienen pozo séptico. -cocinan con leña. -tienen polideportivo. -tienen señal de movistar y claro. -tienen energía eléctrica. -tienen reservorios de agua. -tienen ganadería. -quebradas Chili e Hilarco. -Por su territorio quedan los restos del cruce de la carrilera del tren la cual fue utilizada hace más de 40 años en un trayecto de Bogotá a Neiva, en la actualidad la comunidad la utiliza como camino o callejón como ellos mismos lo expresan por donde se transportan en bicicleta y para el ganado -limita con la vereda Rosario, Coyarco, el Floral, Hilarquito, y vereda nueva esperanza	
MUNICIPIO: COYAIMA	
Vereda: El Floral	
Los participantes plasmaron en el mapa: - escuela primaria. -tiene una capilla. -tiene hogares de bienestar del ICBF. -tiene cementerio. -tiene vías de acceso. -se benéfica del acueducto Niple. -tiene aljibes. -tiene pozos sépticos. -tiene cultivos de cachaco y maíz. -tiene ganadería. -tiene una quebrada llamada chenche. -tiene un rio se llama negro. -tiene torres de movistar. -limita con las veredas Coyarco, Chili, Hilarquito, Acevedo y Gómez, el Tambo y Lomas de Guaguarco.	

Tabla 62. Cartografía social generada por los actores en los Municipios de Coyaima, Natagaima. Y Ortega. (Continuación).

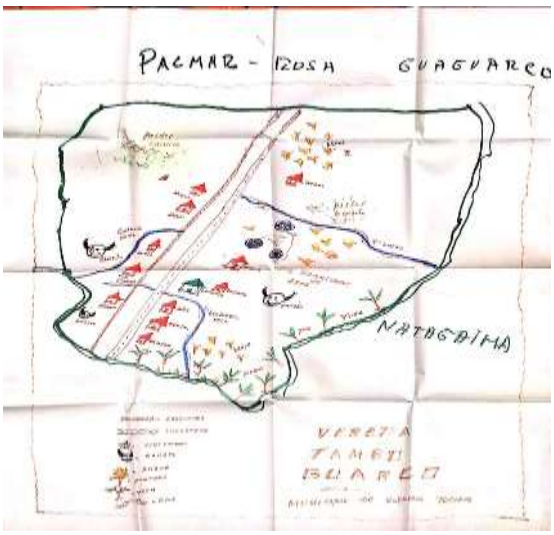
MUNICIPIO: COYAIMA	
Vereda: El Tambo	
Los participantes plasmaron en el mapa: -se benefician del acueducto vereda palma alta de Natagaima. (es un convenio que hay entre Coyaima y Natagaima) -tienen aljibes. -la escuela está cerrada no hay niños. -cocinan con leña. -tienen vía de acceso se transportan en carro, cicla, moto. -cuentan con la quebrada obispo la cual se seca en verano. -tienen el rio seco es un alimentador del canal del triángulo. -tienen ganado lechero. -tienen cultivos de pan coger de maíz, cachaco, yuca y maíz. -tienen ovejas y gallinas. -tienen canales de riego del Triángulo de Sur del Tolima terciarios que van para las fincas. -hay nacimientos de agua son pequeños brotes de las peñas y corre a la quebrada Rio Negro y se secan en verano. -Quebrada Rio Negro, Guaguarco, Guaguarco seco, las cuales se secan en verano. -Por su territorio quedan los restos del cruce de la carrilera del tren la cual fue utilizada hace más de 40 años en un trayecto de Bogotá a Neiva, en la actualidad la comunidad la utiliza como camino o callejón como ellos mismos lo expresan por donde se transportan en bicicleta y para el ganado.	

Tabla 62. Cartografía social generada por los actores en los Municipios de Coyaima, Natagaima. Y Ortega. (Continuación).

MUNICIPIO: COYAIMA	
Vereda. Hilarquito	
Los participantes plasmaron en el mapa: -la habitan 150 personas. -tienen escuela. -tienen una vía de acceso. -cultivan maíz, cachaco, caña. -tienen ganado. -se benefician del acueducto Nipli. -tienen aljibes. -cocinan con leña. -tienen letrina y pozos séptico. -tienen el rio Hilarquito.	
MUNICIPIO: COYAIMA	
Resguardo Lomas de Guaguarco	
Los participantes plasmaron en el mapa: -escuela primaria. -tienen acueducto en regular estado. - tienen aljibes y nacimientos. - capilla evangélica. -tienen ganadería. -Cultivos de yuca, cachaco y frutales. -hacen artesanías. -tienen electricidad. Quebradas el Obispo, quebrada la Jabonera, Lilirco, Palozaboza, de los muertos, Hilarquito, todas están secas. -tienen una sede comunitaria. -realizaron una reforestación agrosilvo pastoril. - tienen una sede indígena.	

Tabla 62. Cartografía social generada por los actores en los Municipios Coyaima, Natagaima. Y Ortega. (Continuación).

MUNICIPIO: COYAIMA	
Veredas los Totarcos Totarco Dinde	
Los participantes plasmaron en el mapa: - escuela primaria. - colegio de bachillerato. - vía de acceso. -cultivan cachaco para vender la hoja y cultivan frutas. -tienen minería artesanal. - tienen letrinas y pozos sépticos. -tienen aljibes. - el acueducto no funciona. -tienen gas domiciliario. Totarco Piedras -Tienen escuela primaria. -tienen vía de acceso. -tienen ganado y producen -productores de panela. -cultivan cachaco para comercializar la hoja, -cultivan frutales. - tienen capilla. -tienen la quebrada zanja honda. -quebrada Pocharco. -tienen gas domiciliario. -tienen acueducto y aljibes. - tienen letrina y pozos sépticos.	

Tabla 62. Cartografía social generada por los actores en los Municipios de Coyaima, Natagaima. Y Ortega. (Continuación).

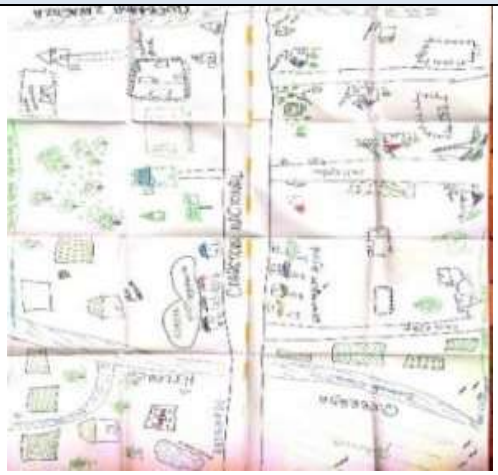
MUNICIPIO: NATAGAIMA	
Vereda. Nueva Esperanza	
Los participantes plasmaron en el mapa: -en esta vereda se encuentra una subestación de Hocol. -tienen polideportivo. -tienen escuela. -tiene pozos profundos y aljibes. -tiene pozos sépticos y letrinas. -comercializan artesanías. -tiene vía de acceso. Que es la vía nacional. -tienen ganado. -cultivan frutales. -tiene la quebrada Zaragoza.	
MUNICIPIO: NATAGAIMA	
Vereda Anacarco	
Los participantes plasmaron en el mapa: -limita al sur con el Huila al norte con las veredas Mercadillo y Mercadillo Progreso, al oriente con Alpujarra y al occidente con el río Magdalena y la vereda Cocana. -cuentan con la vía central que atraviesa toda la vereda, también tiene acceso fluvial por Río magdalena y por el Huila con la vía que comunica a San Alfonso., -Acueducto: cuenta con el servicio de acueducto regional velu, y de aljibes -Tienen señal de movistar y Tigo. -Alcantarillado: No cuenta con este servicio, en su mayoría no cuentan con ningún sistema de evacuación de aguas negras, lo que hace que las aguas residuales vayan a campo abierto. Energía -eléctrica: Enertolima. -Tienen un cementerio -Educación: cuenta con escuela, La vereda tiene zonas susceptibles a inundaciones en épocas de invierno por el Río Magdalena, No cuenta con sitios históricos y culturales. - agricultura, especialmente de cultivos semestrales como el arroz, maíz.	

Tabla 62. Cartografía social generada por los actores en los Municipios de Coyaima, Natagaima. Y Ortega. (Continuación).

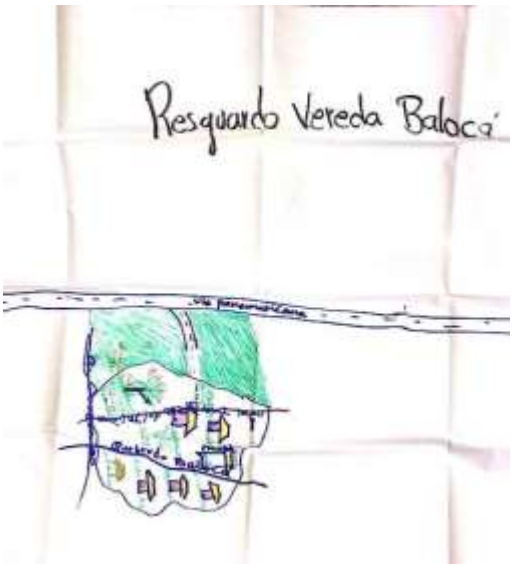
MUNICIPIO: NATAGAIMA	
Resguardo y **Vereda** Balocá	
Los participantes plasmaron en el mapa: -limita al sur con el casco urbano de Natagaima, al norte con el Municipio de Coyaima (Río Guaguarco), -vía Nacional que atraviesa de sur a norte la vereda. -En esta vereda encontramos ubicada la comunidad indígena de Baloca . -Acueducto: No cuenta con el servicio de acueducto, se abastecen de aljibes. -algunas viviendas tiene Pozos sépticos y el resto no cuentan con ningún sistema de evacuación de aguas negras, lo que hace que las aguas residuales vayan a campo abierto -Energía eléctrica: Enertolima -Cuenta con escuela en buen estado. -sede del cabildo indígena -cuenta con un centro de salud que está cerrado. -Cuentan con un polideportivo en buen estado Cuenta con la vía nacional que va de sur a norte y comunica la vereda con el casco urbano, tiene una red de vías secundarias que permiten el acceso a todos los sectores de la vereda. -La vereda tiene zonas susceptibles a inundaciones en épocas de invierno por el Río Magdalena, No cuenta con sitios históricos y culturales. -cultivos semestrales como el arroz, maíz y frutales.	

Tabla 62. Cartografía social generada por los actores en los Municipios de Coyaima, Natagaima. Y Ortega. (Continuación).

MUNICIPIO: NATAGAIMA	
Vereda: Balsillas	
Los participantes plasmaron en el mapa: -La vereda Balsillas limita por el oriente con Departamento del Huila, al occidente con la vereda Santa Bárbara, al Norte con la vereda las Brisas y al sur con Pueblo nuevo. -Tiene un área de 580 hectáreas. - Acueducto: Cuenta con el servicio a través del acueducto interveredal de Chorro de Eva también se abastecen de aljibes. -No cuenta con alcantarillado. -tienen pozos sépticos. - algunas viviendas no cuentan con ningún sistema de evacuación de aguas residuales Tienen señal de movistar y claro. -Energía eléctrica: Enertolima. -Cuenta con una escuela en regular estado donde. -cuentan con un micro puesto de salud no está en funcionamiento. -cuentan con un polideportivo. -cuentan con la vía Nacional y vías segundarias. -La vereda tiene zonas susceptibles a inundaciones en épocas de invierno por el Río Magdalena. -Cuenta con un cementerio. - agricultura, especialmente de cultivos semestrales como el arroz, maíz. -en la parte pecuaria se destaca la ganadería de doble propósito, lo mismo que avicultura, porcinos y piscicultura, pero esto es para el consumo familiar. -quebradas Nacaroco.	

Tabla 62. Cartografía social generada por los actores en los Municipios de Coyaima, Natagaima. Y Ortega. (Continuación).

MUNICIPIO: NATAGAIMA	
Vereda: Bateas	
Los participantes plasmaron en el mapa: -Esta vereda se encuentra ubicada en la margen derecha del río Magdalena. -límites al oriente con las veredas de Colopo Agua Fría y Planes de Pocharco, al occidente con la vereda los Ángeles, al norte con Tamirco, y al sur con Tinajas. -Población de 194 habitantes, localizados en 47 viviendas. En esta vereda encontramos ubicados los resguardos de Bateas y Tamirco. -Acueducto: Actualmente se toma el agua del acueducto interveredal los Ángeles – Bateas, el cual da cubrimiento del servicio a la totalidad de la población. -tienen pozos sépticos y en su gran mayoría no cuentan con sistema de evacuación de aguas negras, lo que hace que las aguas residuales vayan a campo abierto. -Educación: Cuenta con una escuela en buen estado, -Cuentan con un polideportivo en buen estado. -Esta vereda se comunica con la cabecera municipal a través de la vía que va al paso de la barca, -Sus ingresos provienen de la agricultura, especialmente de cultivos semestrales como el arroz, maíz y frutales; en la parte pecuaria se destaca la ganadería, lo mismo que avicultura, porcinos y piscicultura, pero esto es para el consumo familiar.	

Tabla 62. Cartografía social generada por los actores en los Municipios Coyaima, Natagaima. Y Ortega. (Continuación).

MUNICIPIO: NATAGAIMA	
Vereda: Guasimal Guadualeja	
Los participantes plasmaron en el mapa: - limita por el oriente con la vereda Rincón Anchique, al occidente con Imbá, al norte con Plomo la María y al sur con Guasimal Guadualeja - 283 habitantes -localizados en 70 viviendas. -Acueducto: 57 viviendas cuentan con el servicio de acueducto, que es prestado a través del acueducto regional de la quebrada de Yacó. -14 vivienda tiene pozos sépticos, el resto a no cuentan con ningún sistema de evacuación de aguas negras, lo que hace que las aguas residuales vayan a campo abierto. -Energía eléctrica Enertolima. -Cuenta con una escuela en buen estado donde asisten 51 estudiantes y 3 profesores. - La vereda tiene acceso al casco urbano de Natagaima a través de la vía nacional -Amenazas: La vereda tiene zonas susceptibles a inundaciones en épocas de invierno por el Río Anchique, -No cuenta con sitios históricos y culturales. - Economía: Sus ingresos provienen de la agricultura, especialmente de cultivos semestrales como el arroz, algodón maíz y frutales. -Como organizaciones cuenta con Junta de acción comunal con su respectiva personería Jurídica y el cabildo del resguardo Guasimal Mesas. -cuenta con cementerio. -tiene una casa del resguardo.	

Tabla 62. Cartografía social generada por los actores en los Municipios de Coyaima, Natagaima. Y Ortega. (Continuación).

MUNICIPIO: NATAGAIMA	
Resguardo La Cocana	
Los participantes ubicaron en el mapa: -limita al sur con el casco urbano de Natagaima, al norte con el Municipio de Coyaima (Río Guaguarco), -En esta vereda encontramos ubicada la comunidad indígena de Baloca y parte del territorio del Resguardo del Tambo. - Acueducto: No cuenta con el servicio de acueducto, se abastecen de aljibes. - algunas viviendas tienen Pozos sépticos y el resto no cuentan con ningún sistema de evacuación de aguas negras, lo que hace que las aguas residuales vayan a campo abierto -Energía eléctrica: Enertolima -Cuenta con escuela en buen estado y una sede del cabildo indígena -cuenta con un centro de salud que está cerrado. - Cuentan con un polideportivo en buen estado -Cuenta con la vía nacional que va de sur a norte y comunica la vereda con el casco urbano, tiene una red de vías secundarias que permiten el acceso a todos los sectores de la vereda. -La vereda tiene zonas susceptibles a inundaciones en épocas de invierno por el Río Magdalena, -No cuenta con sitios históricos y culturales. -agricultura, especialmente de cultivos semestrales como el arroz, maíz y frutales.	

Tabla 62. Cartografía social generada por los actores en los Municipios de Coyaima, Natagaima. Y Ortega. (Continuación).

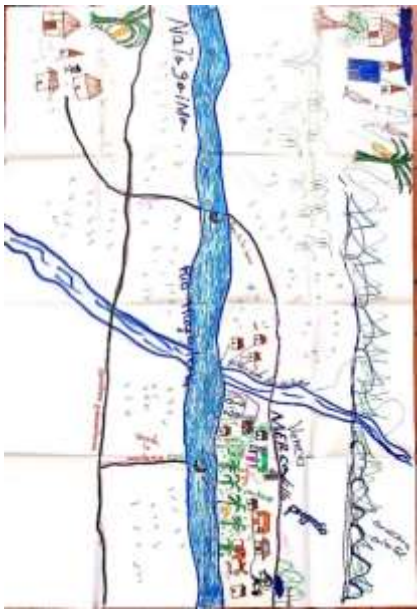
MUNICIPIO: NATAGAIMA	
Vereda: Mercadillo Progreso	
Los participantes plasmaron en el mapa: - encuentra ubicada en la margen derecha del río Magdalena, -En esta vereda encontramos ubicado elresguardo indígena de Mercadillo. -Acueducto: No cuenta con el servicio de acueducto, se abastecen de un nacimiento "moya romerito" en verano se disminuye la producción, tienen dos aljibes uno en el resguardo y otro en la escuela. - la mayoría de las viviendas no cuentan con ningún sistema de evacuación de aguas negras, lo que hace que las aguas residuales vayan a campo abierto. -cuentan con señal de claro y movistar -Energía eléctrica: Enertolima -Cuenta con escuela en mal estado. -cuentan con un Micro puesto de salud, el cual está cerrado. - Se comunica con la cabecera municipal a través de la vía que va al paso de la barca, y por el paso en canoa a salir a la vereda la molana queda más cerca a la panamericana. - agricultura, especialmente de cultivos de maíz y cachaco y ganadería.	

Tabla 62. Cartografía social generada por los actores en los Municipios de Coyaima, Natagaima. Y Ortega. (Continuación).

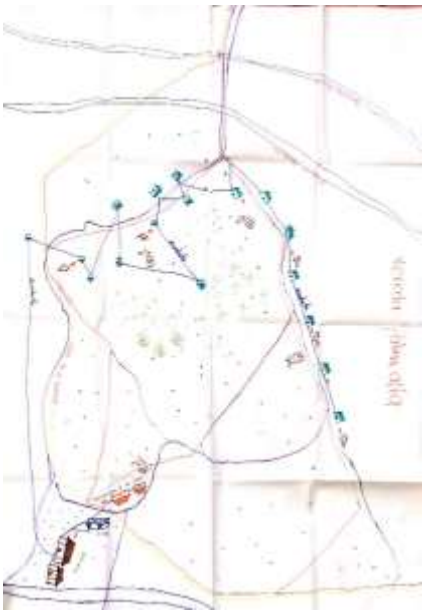
MUNICIPIO: NATAGAIMA	
Vereda: Palma Alta	
Los participantes plasmaron en el mapa: -limita al oriente con la vereda de Baloca, al occidente con Plomo la María y el Municipio de Coyaima, sur con San Miguel y al norte con el Municipio de Coyaima. -En esta vereda encontramos ubicado el resguardo de Palma Alta. -Acueducto: Esta vereda cuenta con el servicio de acueducto y también se abastecen de aljibes. Este se abastece de la fuente de la quebrada Nataroco -No cuenta con este servicio, la mayoría de las viviendas no cuentan con ningún sistema de evacuación de aguas negras, lo que hace que las aguas residuales vayan a campo abierto. -Energía eléctrica: Enertolima. Educación: Cuenta con escuela en buenas condiciones -Cuentan con un micro puesto de salud no funciona -Cuentan con escenarios deportivos -En cuanto a vía carreteable, la vereda Palma Alta tiene acceso por la vía nacional - la agricultura, especialmente de cultivos semestrales como el arroz, maíz, algodón. -Cuenta con un salón comunal. -Cocinan con leña y cilindro de gas. -Una de los eventos importantes para la región es la construcción del triángulo del Tolima.	

Tabla 62. Cartografía social generada por los actores en los Municipios Coyaima, Natagaima. Y Ortega. (Continuación).

MUNICIPIO: NATAGAIMA	
Resguardo: Rincón Anchique	
Los participantes plasmaron en el mapa: -límites son los siguientes: al Oriente con río Magdalena, al occidente con Camino Real, al Norte con el casco urbano de Natagaima y al sur con Guasimal Guadualejas. -población de 604 habitantes localizados en 123 viviendas. - Acueducto: tienen el servicio de agua potable, que es prestado por el acueducto de Anchique. - la mayoría de las viviendas no cuentan con ningún sistema de evacuación de aguas negras, lo que hace que las aguas residuales vayan a campo abierto. -Señal de celular: movistar y claro. -Cuenta con una escuela Concentración de Desarrollo Rural Anchique de nivel secundario -Cuenta con puesto salud está cerrado. -Cuentan con escenarios deportivos. -La vía de acceso a la vereda Rincón Anchiqe es la vía nacional. -La vereda tiene zonas susceptibles a inundaciones en épocas de invierno por el Río Magdalena, No cuenta con sitios históricos y culturales. -cultivos semestrales como el arroz, maíz y algunos frutales; en la parte pecuaria se destaca la ganadería, avicultura, porcinos y piscicultura, pero esto es para el consumo familiar. -Fuentes hídricas: rio magdalena, rio Anchique, quebrada Natura y Nacivico. -cruza una vía férrea por su vereda. -tienen petróleo. -tienen proyectos productivos de ganadería.	

Tabla 62. Cartografía social generada por los actores en los Municipios de Coyaima, Natagaima. Y Ortega. (Continuación).

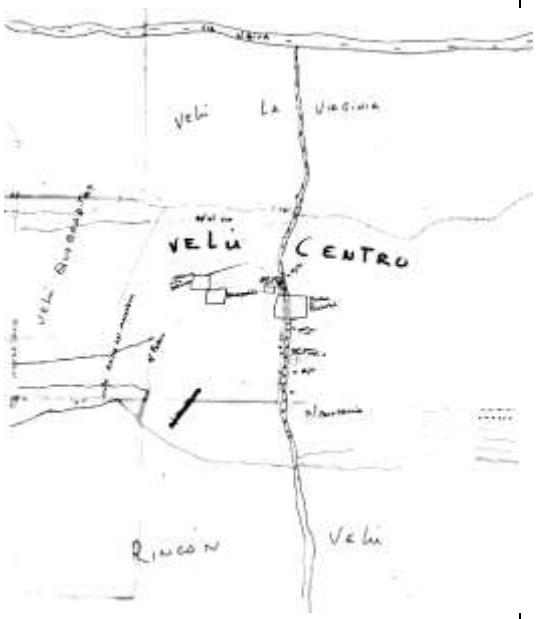
MUNICIPIO: NATAGAIMA	
Vereda: Velú- Centro	
Los participantes plasmaron en el mapa: -limita por el oriente con la vereda de Cocana, al occidente con Monte Frío, al norte con Yacó y al sur con la vereda Balsillas y el Rio Magdalena. -Acueducto: es prestado a través del acueducto regional de Yacó. -la mayoría de las viviendas no tiene ningún sistema de evacuación de aguas negras lo que hace que las aguas residuales vayan a campo abierto. -tienen gas domiciliario -Energía eléctrica: Enertolima -Cuenta con la escuela Rural Mixta Ángel Herminsul Castañeda, y el colegio Mariano Ospina Pérez de Básica secundaria y media vocacional. -Cuentan con puesto salud en la vereda no está funcionando. -Cuentan con escenarios deportivos. -el Centro Poblado Rural de Velú se comunica con la cabecera municipal de Natagaima a través de la vía nacional. -La vereda tiene zonas susceptibles a inundaciones en épocas de invierno por el Río Magdalena. En el aspecto cultural, turístico y paisajístico tiene como atractivo el famoso Cerro de Pacandé, al cual se le atribuye toda una leyenda histórica-cultural a nivel nacional, siendo habitado por la comunidad religiosa denominada Santísima Obra del Sendero de los Maestros de Pacandé (encostalados). - agricultura, especialmente de cultivos semestrales como el arroz y maíz.	

Tabla 62. Cartografía social generada por los actores en los Municipios de Coyaima, Natagaima. Y Ortega. (Continuación).

MUNICIPIO: NATAGAIMA	
Resguardo: Pacande	
-está formado por 419 familias. -tienen la escuela divino niño. -se reúnen en la sede del resguardo. -tienen vía de acceso se transportan en carro y moto tienen ruta intermunicipal. -cultivan maíz, plátano, cachaco, frijol. -tienen ganadería lechera en 45 hectáreas. -tienen luz de Enertolima. -tienen acueducto. -tienen señal de movistar y claro. -los residuos sólidos los entierran. -tienen pozo séptico o hacen en espacio abierto. -cocinan con leña. -su EPS es Pijaos salud. -van al médico tradicional o al hospital. -su momento histórico más importante fue la entrega del territorio. -celebran la fiesta de la madre y san isidro. -tienen proyectos productivos financiados por la gobernación. -tienen la quebrada Guaguarquito. -colindan con el rio magdalena **Vereda Yaco Molano** Los participantes plasmaron en el mapa: -habitantes 530. -tienen escuela primaria se llama divino niño con 4 profesores. -los niños que está en bachillerato van al colegia de la vereda Anchique donde cuentan con 8 profesores. -la comunidad se reúne en la sede del resguardo. -tienen vía de acceso se transportan en carro, moto, cicla a pie, tienen ruta intermunicipal a toda hora. -cultivan limón, plátano, yuca, y maíz. -tienen ganadería. -tienen luz de Enertolima. -tienen acueducto. -tienen pozo séptico, o en espacio abierto. -cocinan con leña. -tienen señal de movistar y claro. -la basura la queman otros la entierran. -su EPS es Pijaos salud. - las enfermedades se curan con el medico tradicional o en el hospital. - el hecho más importante en su comunidad fue la entrega del territorio. sus fiestas más importantes las celebran en junio. -tienen proyecto productivo en seguridad alimentaria. Tienen JAC y Gobernador Indígena.	

Tabla 62. Cartografía social generada por los actores en los Municipios de Coyaima, Natagaima. Y Ortega. (Continuación).

MUNICIPIO: NATAGAIMA	
Vereda: Yacó	
Vereda Yaco Los participantes plasmaron en el mapa: -límites son los siguientes: al Oriente con río Magdalena, al occidente con Pueblo Nuevo, al Norte con la Molana y al sur con Cocana y Pueblo Nuevo. -Acueducto: cuenta con el servicio de agua que es prestado por el acueducto regional de Yacó. -tienen aljibes y un pozo profundo en el resguardo. -pozos sépticos. -Energía eléctrica: Enertolima -Cuenta con escuela en buen estado. -cuentan con un micro puesto de salud no funciona. - cuenta con polideportivo. - La vía de acceso a la vereda yaco es la vía nacional. -La vereda tiene zonas susceptibles a inundaciones en épocas de invierno por el Río Magdalena. -No cuenta con sitios históricos - agricultura, especialmente de cultivos semestrales como el arroz, algodón, maíz y frutales.	

Tabla 62. Cartografía social generada por los actores en los Municipios de Coyaima, Natagaima. Y Ortega. (Continuación).

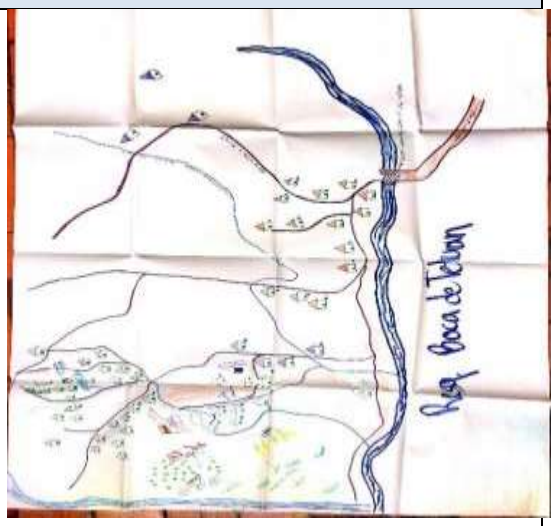
CARTOGRAFIA SOCIAL GENERADA	
MUNICIPIO: ORTEGA	
Resguardo Boca de Tetuan	
Los participantes plasmaron en el mapa: -Tienen escuela. -Cada vivienda tiene aljibe. -Tienen una quebrada en tiempo de verano se seca. -Cultivan maíz, cachaco, limos para el auto consumo. -Tienen vías en mal estado. -Tienen el rio Tetuán	
Resguardo Guaipa Uno	
los participantes plasmaron en el mapa: - tiene escuela primaria. -tienen áreas protegidas. - hay ganadería en pequeña escala. - cultivos de cachaco, limón y maíz. resguardo Balsillas CRIT -105 casas. -tienen acueducto agua de la quebrada el moyón. -tiene casa comunal. -escuela primaria con cancha de micro. -tienen cementerio. -tiene quebrada Guabinal. el Cural, Tama. Cocana -tiene sede del resguardo. -cultivan limón, cachaco y maíz. resguardo balsillas limón -tiene acueducto Cunchero -tiene vías. -cementerio. -tiene un caserío con cancha de microfútbol. -quebrada Aico, el Meyon,	

Tabla 62. Cartografía social generada por los actores en los Municipios de Coyaima, Natagaima. Y Ortega. (Continuación).

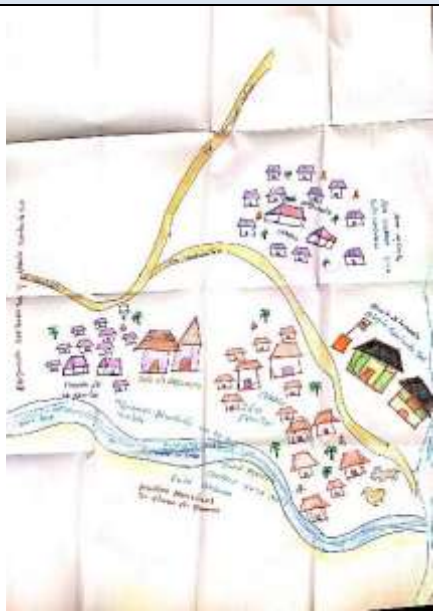
CARTOGRAFIA SOCIAL GENERADA	
MUNICIPIO: ORTEGA	
Resguardo y Vereda Guatavita Tua	
Los participantes plasmaron en el mapa: -Tienen escuela. -Cada vivienda tiene aljibe. -Tienen una quebrada en tiempo de verano se seca. -Cultivan maíz, cachaco, limos para el auto consumo. -Tienen vías en mal estado. -Tienen el rio Tetuán	

Tabla 62. Cartografía social generada por los actores en los Municipios de Coyaima, Natagaima. Y Ortega. (Continuación).

CARTOGRAFIA SOCIAL GENERADA	
MUNICIPIO: ORTEGA	
Resguardo Nicolás Ramírez	
Los participantes plasmaron en el mapa: -Cuentan con carretera y transporte. -No cuentan con acueducto, utilizan el agua de los aljibes. -Tienen escuela primaria. -Tienen centro de salud, pero está cerrado. -Cultivos maíz, cachaco, yuca. -Algunas familias cuentan con una o dos vacas. -Tienen canchas de tejo. -Sede resguardo. -Polideportivo. -Quebradas Gualo y Velurco. -Tiene los cerros las ánimas la zona esta erosionada. -Cerro el neme y esta erosionado. -Esta bordeado por el rio Tetuán. -Limita con el resguardo de Aico, la sortija y vuelta del rio centro	

Tabla 62. Cartografía social generada por los actores en los Municipios de Coyaima, Natagaima. Y Ortega. (Continuación).

CARTOGRAFIA SOCIAL GENERADA	
MUNICIPIO: ORTEGA	
Resguardo Paso Ancho	
Los participantes plasmaron en el mapa: -Tiene alrededor de 87 viviendas, 108 familias y 600 habitantes. -Tienen escuela primaria. -Cada predio es de 3 hectáreas. -Cultivan cachaco, maíz, yuca. -No tienen acueducto. -El agua la sacan del rio ortega o de aljibes. -Tienen 1 o 2 vacas. -El resguardo consta de 900 hectáreas. -No cuentan con acueducto.	

Fuente: Elaboración propia. Proagua, 2018

Tabla 69. Cartografía social generada por actores del Municipio de Prado.

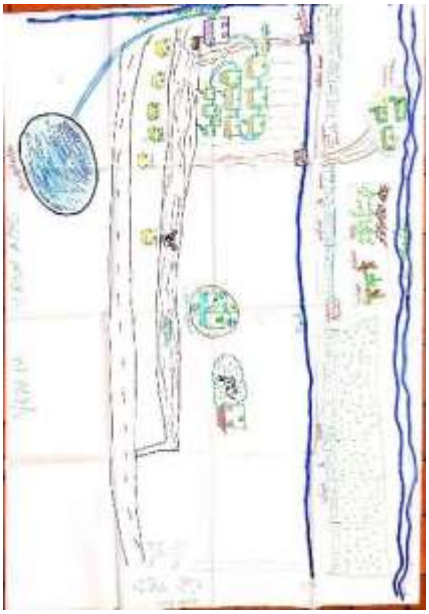
CARTOGRAFIA SOCIAL GENERADA	
MUNICIPIO: PRADO	
Vereda Peñón Alto	
Los participantes plasmaron en el mapa: -tienen escuela de primaria. -tienen acueducto. -cultivas arroz, maíz, plátano, yuca. - hay ganado. -tienen la quebrada ata, rio magdalena, -sus viviendas tienen pozo séptico, o letrina. Tienen vías de acceso. -cocinan con leña o cilindro de gas. -tienen servicio de claro y movistar. -tienen un canal de riego.	

Tabla 63. Cartografía social generada por actores del Municipio de Prado. (Continuación).

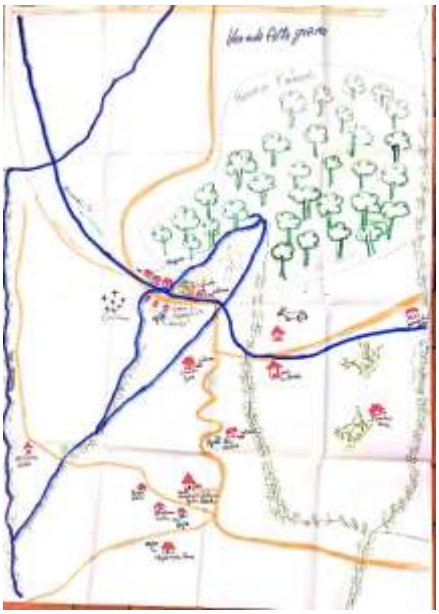
MUNICIPIO: PRADO	
Vereda Alta Gracia	
Los participantes plasmaron en el mapa: -cuenta con escuela. -hay un centro de salud, pero no funciona. -hay un acueducto que viene de la vereda Begones pero funciona en ocasiones, se surten por manguera del agua caño la gallineta o por aljibe. -algunas viviendas tienen pozo séptico, letrina o a cielo abierto. -cultivan plátano, yuca, cacao, banano. -tienen señal de movistar y claro. - hay dos fincas que tienen ganado. -tienen una reserva forestal y le dicen sitio sagrado. - tienen cementerio. -cocinan con leña o el carro del gas pasa todas las semanas. - tienen carretera destapada todos los días hay una línea	

Tabla 63. Cartografía social generada por actores del Municipio de Prado. (Continuación).

MINICIPIO: PRADO	
Vereda Catalán	
Vereda Catalán Los participantes plasmaron en el mapa: -tienen escuela de primaria. -cuentan con gas domiciliario. - tienen energía eléctrica. - tienen señal de movistar y claro. -tienen agua del acueducto de prado llega por tubería. - la mayoría de las viviendas tienen aljibe. - las viviendas tienen letrina y pozos sépticos. - hay fincas grandes donde cultivan arroz. - la mayoría vive del jornal. - tienen una vía de acceso. -tienen un canal de riego. - tienen la quebrada Marañon, Guadalejo. - limita con el rio magdalena.	

Tabla 63. Cartografía social generada por actores del Municipio de Prado. (Continuación).

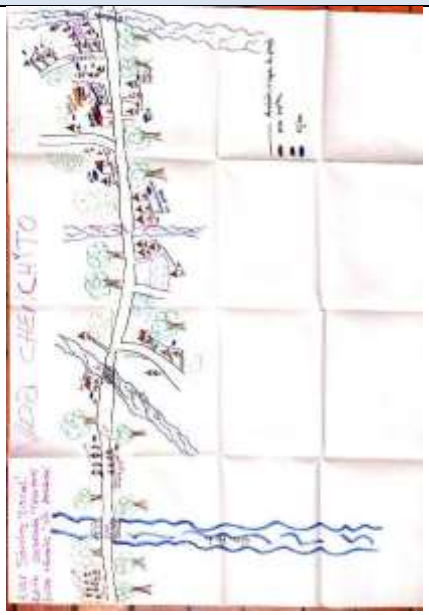
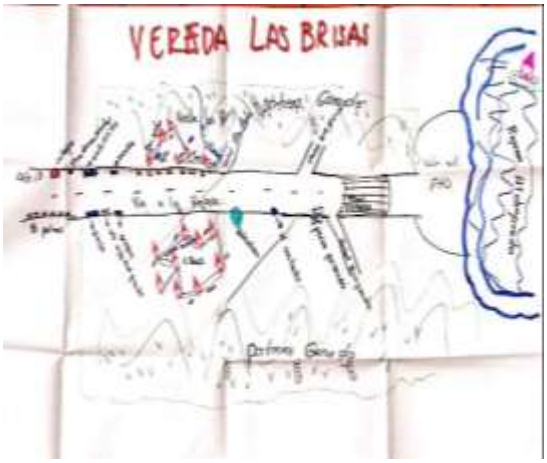
MUNICIPIO: PRADO	
Vereda Chenchito	
Los participantes plasmaron en el mapa: -tiene escuela, pero no está en funcionamiento por estar ubicada cerca del rio. -cultivos de arroz. - tiene polideportivo. - tiene casa comunal. - la vereda está ubicada sobre la vía. - tiene una quebrada chenche. -tienen agua del acueducto de prado y de aljibes. - cocinan con leña o con gas de cilindro. - tienen pozos sépticos. - cuentan con la señal de movistar y claro	

Tabla 63. Cartografía social generada por actores del Municipio de Prado. (Continuación).

MUNICIPIO: PRADO	
Vereda: Conchal	
Los participantes plasmaron en el mapa: -tiene escuela en funcionamiento. - zona arrocera. -cuentan con gas domiciliario. -el agua es del acueducto del municipio de prado. -tienen pozos sépticos. - la escuela tiene polideportivo. - quebradas el Guadalejo. -limita con el rio magdalena. - algunos tienen una o dos vacas para el consumo. - tienen vía de acceso. - tienen señal de movistar y claro. - tienen cría de cerdos.	

Tabla 63. Cartografía social generada por actores del Municipio de Prado. (Continuación).

MUNICIPIO: PRADO	
Vereda: Las Brisas	
Los participantes plasmaron en el mapa: -no tiene escuela van hasta prado. - tienen acueducto viene de la vereda corinto. - tienen gas domiciliario pero algunas personas cocinan con leña. -las viviendas tienen pozo séptico. - tienen ganadería. - tienen una vía de acceso la que va para Hidroprado. - tienen señal de claro. -La gente vive del jornal.	
Vereda: Tortugas	
Los participantes plasmaron en el mapa: -cuentan con escuela primaria. -centro de salud no funciona. -toman el agua de pozos profundos y aljibes. -tienen cementerio. -tienen una reserva forestal. -en la quebrada tortugas hubo una avalancha. -tienen pozos sépticos, letrina. - economía son ganaderos, cría de pescado, - tienen vías de penetración. Limita con el rio magdalena y con el municipio de dolores. -corren las quebradas ata, tortugas, señoritas, las animas.	

Fuente: Elaboración propia. Proagua, 2018.

Tabla 70. Cartografía social generada por los actores del Municipio de Purificación.

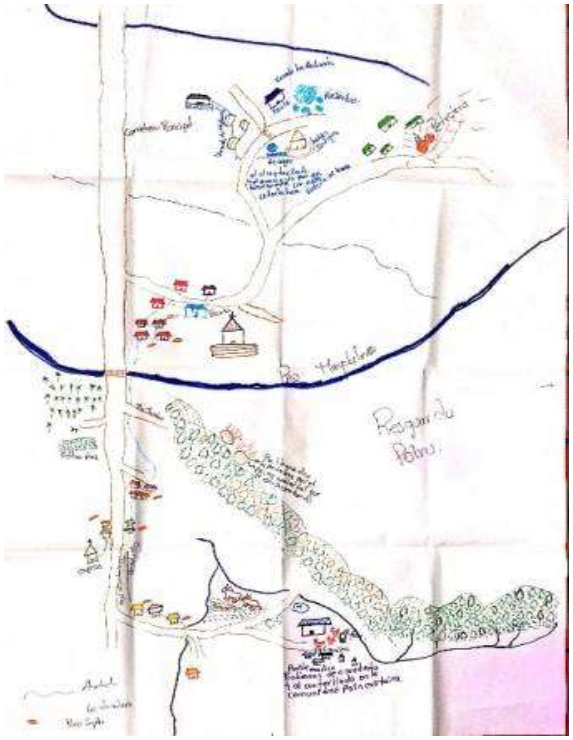
CARTOGRAFIA SOCIAL GENERADA	
MUNICIPIO: PURIFICACIÓN	
Resguardo Poira	
Los participantes plasmaron en el mapa: -Su territorio está habitado por 66 familias y 316 habitantes. -Cuentan con escuela primaria llamada Luis Pinto. -En este municipio se encuentran asentadas las cor indígenas Yaporo, Poimas, Chenche Asoleado, Chenc Poin Costairo. -Sitio donde se reúne la comunidad en la finca La Virginia. -Tienen vía de acceso por la carretera principal. -Su economía se basa en la agricultura de maíz, yuca, maracuyá, pepino. -Tienen ganadería ubicada en 27 hectáreas de doble propósito en y cría de cerdos para su consumo. -Cuentan con energía eléctrica de Enertolima. -Cuentan con acueducto veredal. - Tienen gas domiciliario, sin embargo, algunas personas cocinan con leña. -Cuentan con una reserva forestal llamada Pringamozal ubicada al lado de la escuela. -Algunas viviendas cuentan con pozo séptico o letrinas los habitantes del resto de las viviendas hacen sus necesidades en espacio abierto. -Uno de los sitios sagrados es el cerro del Cocuy y el bohío. -En su territorio hay explotación petrolera de la empresa Hocol. -Cuentan con expendió de alimentos.	

Tabla 64. Cartografía social generada por los actores del Municipio de Purificación. (Continuación).

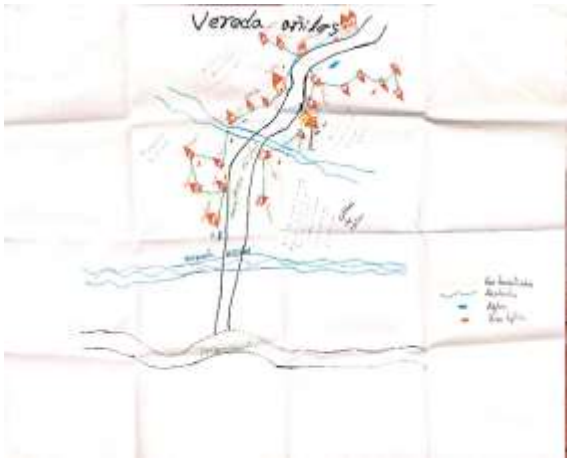
MUNICIPIO: PURIFICACIÓN	
Vereda Añiles	
Los participantes plasmaron en el mapa: -cuenta con 120 habitantes. -no cuentan con escuela. -cuentan con vía de acceso. -son productores de melón sacan una cosecha al año lo venden en Bogotá. -tienen ganado para su auto consumo. -cuentan con energía eléctrica. -cuentan con acueducto veredal. -cuentan con gas domiciliario. -tienen aljibes y dos pozos profundos para su abastecimiento de agua. -no cuentan con escuela. -cuentan con señal de telefonía celular. -algunas viviendas cuentan con pozo séptico. -Por su territorio pasa el Rio Magdalena y el rio Chenche.	

Tabla 64. Cartografía social generada por los actores del Municipio de Purificación. (Continuación).

MUNICIPIO: PURIFICACIÓN	
Vereda Cairo Leticia	
Los participantes plasmaron en el mapa: - 39 viviendas - Quebrada Dindal y quebrada la balsa. - tienen escuela. - tienen acueducto. - cultivan arroz, cachaco - tienen carretera	
MUNICIPIO: PURIFICACIÓN	
Vereda Cairo Santa Helena	
Los participantes plasmaron en el mapa: -viven en su territorio 59 familias. -cuentan con escuela primaria Cairo Santa Helena. -tienen vía de acceso. -cultivadores de arroz. -tienen un acueducto sin terminar se abastecen de agua de los aljibes. -algunas viviendas tienen pozo séptico. -tienen gas domiciliario.	

Tabla 64. Cartografía social generada por los actores del Municipio de Purificación. (Continuación).

MUNICIPIO: PURIFICACIÓN	
Vereda Cairo Socorro	
Los participantes plasmaron en el mapa: -En esta vereda habitan 396 personas. -cuentan con un colegio de bachillerato llamado el Cairo. -tienen vía de acceso. -Cultivadores de arroz lo venden en los molinos salen dos cosechas al año. -tienen aves de engorde, cachama. -cuentan con acueducto. -algunas viviendas cuentan con pozo séptico. -cuentan con señal de telefonía celular. -tienen gas domiciliario.	

Tabla 64. Cartografía social generada por los actores del Municipio de Purificación. (Continuación).

MUNICIPIO: PURIFICACIÓN	
Vereda Campo Alegre	
Los participantes plasmaron en el mapa: -viven 18 familias. -no hay escuela. -tienen salón comunal. -tienen vías de acceso. -son productores de maíz. -tienen ganadería. -productores de cachama. -tienen luz de Enertolima. -se abastecen del acueducto santa lucia. -algunas viviendas cuentan con pozo séptico. -tienen la quebrada consuelo y el tigre.	

Tabla 64. Cartografía social generada por los actores del Municipio de Purificación. (Continuación).

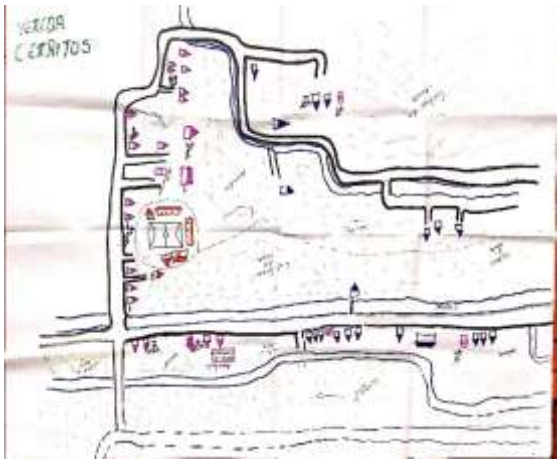
MUNICIPIO: PURIFICACIÓN	
Vereda Cerritos	
Los participantes plasmaron en el mapa: -Su territorio esta habitados por 37 familias que corresponde a 112 personas. -Hay un acueducto veredal, pero hace 5 años se encuentra fuera de servicio. - para su abastecimiento de agua utilizan los aljibes, ellos expusieron que el agua de estos aljibes se encuentra contaminada que es de otro color y es salada que al lavar se corta el jabón y es hace que tengan que hacerlo en las fuentes hídricas. -Algunas viviendas cuentan con pozo séptico, otras con letrina, y otras no tienen unidad sanitaria hacen sus necesidades en espacio abierto. -Cuentan con un polideportivo. -Cuentan con una escuela rural mixta llamada Cerritos, los jóvenes de bachillerato se trasladan a estudiar a la vereda las Damas o Peñones. - Cuentan con una caseta comunal. -Tienen vías de acceso por la vía principal, tienen servicio de transporte los fines de semana a las 8:00 am. -Su economía se basa en la agricultura cultivan arroz sacan dos cosechas al año lo venden en los molinos de la localidad, también cultivan plátano lo venden en la plaza de mercado de la localidad. -Cuentan con gas domiciliario este proyecto fue apoyado por la petrolera Hocol. -Cuentan con señal de telefonía celular.	

Tabla 64. Cartografía social generada por los actores del Municipio de Purificación. (Continuación).

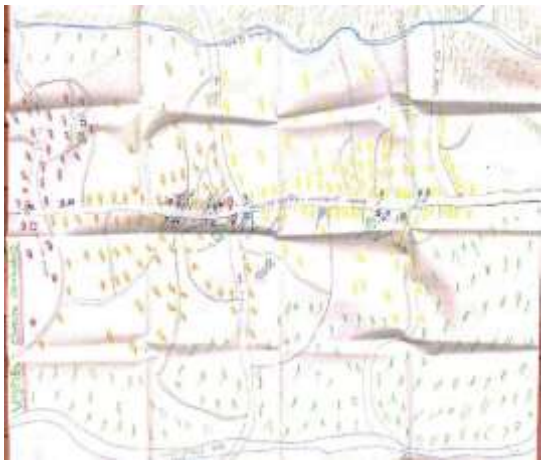
MUNICIPIO: PURIFICACIÓN	
Vereda Chenche Asoleado	
Los participantes plasmaron en el mapa: -cuentan con una sede indígena. -tienen parque recreacional. -tienen 3 pozos profundos de los cueles se abastecen de agua. -tienen escuela primaria llamada la palma. -tienen una torre de concel. -tienen vías de acceso. -cultivadores de arroz. -tienen expendio de tamales. -tienen cancha de tejo. -casa cultural. -tienen capilla. -colegio de bachillerato. -tienen una sede del acueducto. -plaza de mercado. Centro de salud no funciona. -tienen un transformador de energía. -cultivan arroz. -tienen ganado. -cuentan con una quebrada el Caño. -colindan con el rio magdalena.	

Tabla 64. Cartografía social generada por los actores del Municipio de Purificación. (Continuación).

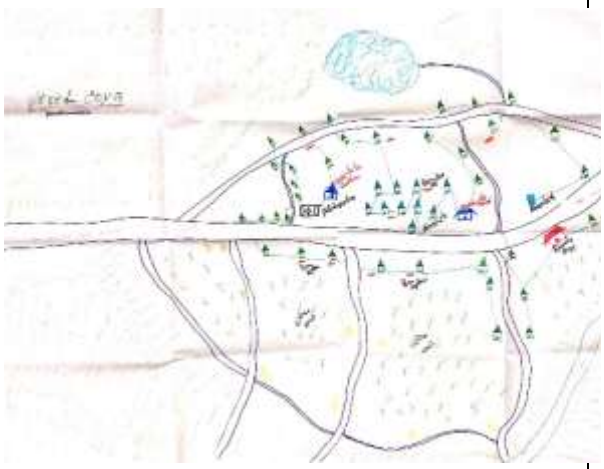
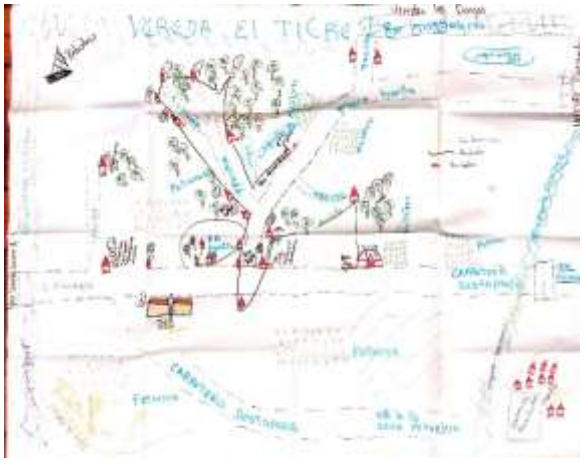
MUNICIPIO: PURIFICACIÓN	
Vereda Coya	
Los participantes plasmaron en el mapa: -lo habitan 175 habitantes. -tienen casa de la cultura. -tienen polideportivo. -tienen puesto de salud no funciona. -cuentan con acueducto. -tienen una escuela de primaria su nombre es coya. -tiene vía de acceso. -cuentan con expendios de alimentos. -cultivadores de arroz. -tienen energía eléctrica de Enertolima. -tienen señal de telefonía celular.	
Vereda El Tigre	
Los participantes plasmaron en el mapa: -70 FAMILIAS. -cuenta con una escuela. Tiene vía de acceso. -son productores de maíz. -cuentan con ganado. -tienen cris de cerdos. -tienen aves de postura. -tienen cultivo de cachama. -hay explotación de petróleo en su territorio Hocol. -cuentan con energía eléctrica de Enertolima. -tienen un acueducto regional. -cuentan con gas domiciliario. -tienen señal de claro y movistar. -algunas viviendas cuentan con pozo séptico. -cocinan con leña. -cuentan con la quebrada el tigre. -colindan con el rio magdalena.	

Tabla 64. Cartografía social generada por los actores del Municipio de Purificación. (Continuación).

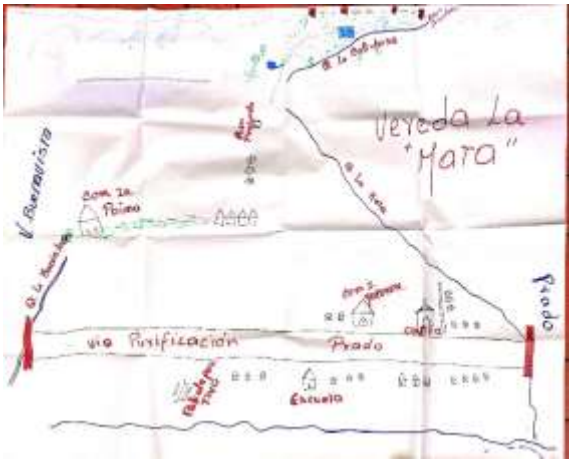
MUNICIPIO: PURIFICACIÓN	
Vereda La Mata Buenavista	
Los participantes plasmaron en el mapa: -viven en su territorio 82 familias. -cuentan con la escuela primaria Nuestra Señora del Amparo. -hay dos comunidades indígenas Yaporo y Poimas. -cuentan con vía de acceso. -cultivan arroz cosechan dos veces al año. -cuentan con ganadería. -energía de Electrolima. -tienen un pozo profundo del cual se abastecen de agua para el consumo humano. -cuentan con telefonía celular. -algunas viviendas cuentan con pozo séptico. -cocinan con leña. -tienen una capilla. -cuentan con las quebradas la Barriloza, la calichosa, y la mata. -tienen un polideportivo.	

Tabla 64. Cartografía social generada por los actores del Municipio de Purificación. (Continuación).

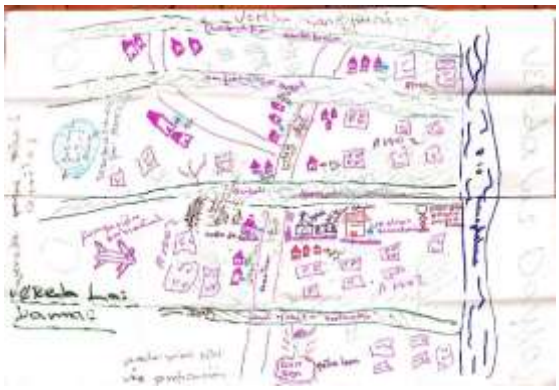
MUNICIPIO: PURIFICACIÓN	
Vereda Las Damas	
Los participantes plasmaron en el mapa: -900 habitantes. -La vereda colinda con el rio magdalena. - mucha contaminación de las quebradas las damas y santa lucia por los cultivos de arroz. - hay una petrolera en el sector de la entrada a la vereda. - fumigación aérea de los cultivos. - Se mueren los peces. -iglesia. -Escuela y colegio de bachillerato -polideportivo. -el acueducto no funciona hace 12 años. - centro de salud no funciona - tienen una carretera. - quebrada las damas, quebrada santa lucia -muchos cultivos de arroz - se murieron los nacimientos por culpa de la contaminación. - limita con vereda san francisco, paños altos, cerritos, - todos los desechos de cultivos y porquerizas, aguas residuales van a la quebrada.	

Tabla 64. Cartografía social generada por los actores del Municipio de Purificación. (Continuación).

MUNICIPIO: PURIFICACIÓN	
Vereda Madroño	
Los participantes plasmaron en el mapa: -está conformada por 30 familias. -cuentan con escuela, pero no funciona, la usan para las reuniones de la comunidad. -tienen cancha de futbol. -tienen ganadería y aves de postura. -tienen un expendio de alimentos. -tienen aljibes. -tienen gas domiciliario. -cuentan con todas las redes de telefonía celular. -algunas viviendas tienen pozo séptico.	

Tabla 64. Cartografía social generada por los actores del Municipio de Purificación. (Continuación).

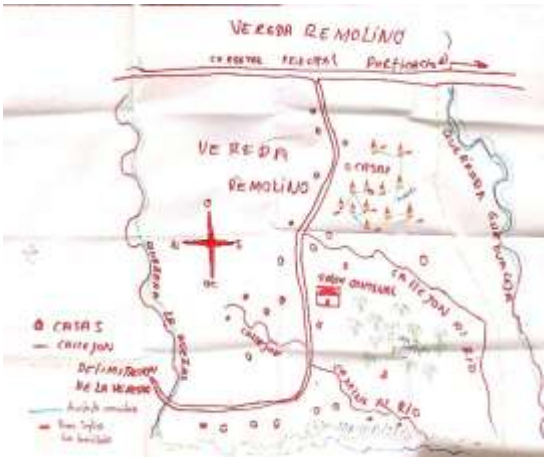
MUNICIPIO: PURIFICACIÓN	
Vereda Remolino	
Los participantes plasmaron en el mapa: -cuenta con 46 viviendas. -no cuentan con escuela. -tienen un salón comunal. -tienen vía de acceso en la que pueden ir en bus, carro o moto. -cultivan plátano. -tienen ganadería. -tienen acueducto comunitario. -tienen señal de telefonía celular. -algunas viviendas cuentan con pozo séptico. -tienen gas domiciliario. -cuentan con la quebrada Guadaleja. -colinda con el rio magdalena.	

Tabla 64. Cartografía social generada por los actores del Municipio de Purificación. (Continuación).

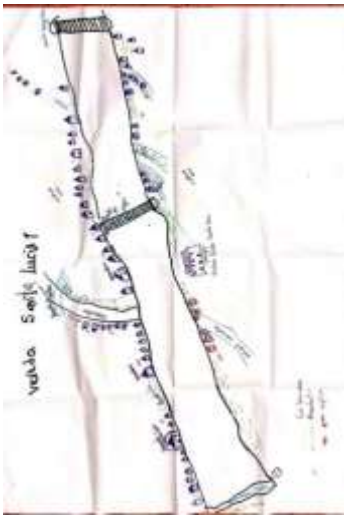
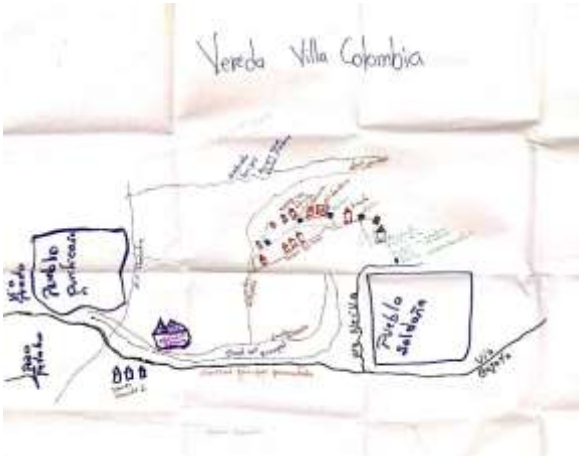
MUNICIPIO: PURIFICACIÓN	
Vereda Sabaneta	
Los participantes plasmaron en el mapa: -conformada por 65 familias. -tienen escuela mixta. -tienen vía de acceso. -cultivan maíz, arroz, plátano. -tienen energía de Electrolima. -se benefician del acueducto santa lucia. -tienen gas domiciliario. -tienen señal de telefonía celular. -algunas viviendas cuentan con pozo séptico. -cocinen con leña.	
MUNICIPIO: PURIFICACIÓN	
Vereda Santa Lucia 1	
Los participantes plasmaron en el mapa: -conformada por 53 viviendas. -cuentan con una escuela llamada santa lucia. -cuentan con un colegio de bachillerato núcleo escolar santa lucia. -cuentan con vía de acceso. -cultivan maíz. -tienen ganadería- -tienen energía eléctrica de Enertolima. -tienen gas domiciliario. -algunas viviendas cuentan con pozo séptico.	

Tabla 64. Cartografía social generada por los actores del Municipio de Purificación. (Continuación).

MUNICIPIO: PURIFICACIÓN	
Vereda Tamarindo	
Los participantes plasmaron en el mapa: -Está habitada por 16 familias que corresponden a 56 habitantes. -No cuentan con escuela los niños se trasladan hasta la cabecera municipal a 45 minutos en carro. -cuentan con la vía principal y con carreteras terciarias que ingresan hasta su vereda. -su economía se basa en el cultivo de arroz tienen sembradas 150 hectáreas sacan dos cosechas al año y lo venden en los molinos ubicados en la cabecera municipal. -cultivan también maíz. - tienen ganado doble propósito. -no cuentan con acueducto utilizan l agua de los aljibes. -Cuentan con señal de telefonía celular. -algunas viviendas cuentan con pozo séptico, otras con letrina, y otras no tienen hacen en espacio abierto. -La petrolera Hocol los apoya con proyectos productivos de ganadería y gallinas ponedoras. -cuentan con un canal de riego llamado Normandía y Baura. - Cuentan con una fuente hídrica quebrada el Guarapo.	

Tabla 64. Cartografía social generada por los actores del Municipio de Purificación. (Continuación).

MUNICIPIO: PURIFICACIÓN	
Vereda Villa Colombia	
Los participantes plasmaron en el mapa: -cuentan con acueducto veredal. -usan también aljibes. -cuentan con escuela primaria. -tienen tiendas. -la vereda se conforma por 36 casas. -cuentan con un canal de riego. -cuenta con vías de acceso. -cuentan con acueducto el cual funciona con una bomba eléctrica y se abastece de un pozo profundo. -cuentan con la quebrada Briñes. -cuentan con señal de telefonía celular. -cultivan arroz. -tienen ganadería. -su principal sitio de pesca es el rio magdalena. -El municipio de TACO Tolima afecta el rio Saldaña por la minería. -cuentan con pozos séptico y letrinas. -tienen gas domiciliario. -tienen la petrolera en los límites de la vereda. -secan y contaminan sus ríos y aguas profundas. -cultivan arroz.	

Fuente: Elaboración propia. Proagua. 2018.

Tabla 71. Cartografía social generada por actores de los Municipios de Saldaña y Suárez.

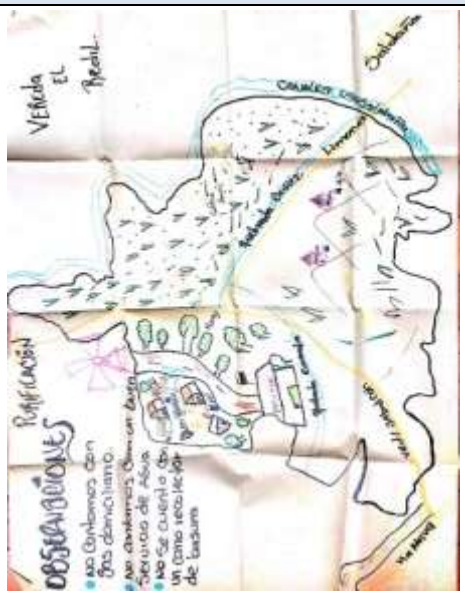
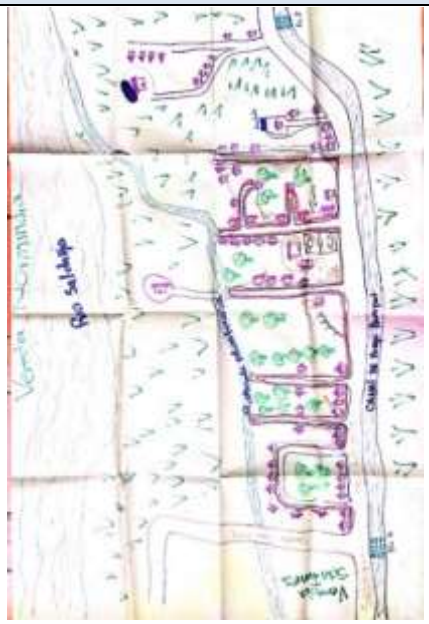
CARTOGRAFIA SOCIAL GENERADA	
MUNICIPIO: SALDAÑA	
Vereda El Redil	
Los participantes plasmaron en el mapa: -cuentan con escuela de primaria. -cultivan el arroz. Aljibes. -tienen canal de riego uso Saldaña. -no tienen acueducto. - quebrada la concordia, briñez, -tienen vías de acceso. -No hay gas domiciliario. - no tienen servicio de agua.	
Vereda Normandía	
Los participantes plasmaron en el mapa: -limita con el rio Saldaña. -tienen alcantarillado -tienen acueducto activo de pozo profundo. - quebradas mantecosa. -Canal de riego principal. - cultivadores de arroz y frutales, también viven del jornal. -gas domiciliario. -tienen escuela con vive digital. - tienen polideportivo. - tienen cultivo de pescado	

Tabla 65. Cartografía social generada por actores de los Municipios de Saldaña y Suárez. (Continuación).

MUNICIPIO: SALDAÑA	
Veredas: Palmar Arenosa y Palmar Trincadero	
Los participantes plasmaron en el mapa: ARENOSA -polideportivo. -escuela. - aljibes -cultivos de arroz. -capilla. -pozos sépticos -Quebradas laureles, empoinal. -cancha de tejo PALMAR TRINCADERO -quebradas laureles, malnombre, la chicora. - escuela. -Polideportivo. -Tiene vías de acceso. - no tiene acueducto. - aljibes. - colinda con el rio Saldaña. -cultivos de arroz, limón, jornales	

Tabla 65. Cartografía social generada por actores de los Municipios de Saldaña y Suárez. (Continuación).

MUNICIPIO: SALDAÑA	
Vereda Santa Inés	
Los participantes plasmaron en el mapa: -cuentan con escuela primaria. -con alcantarillado - tienen acueducto para 94 familias se abastece de un pozo profundo. -cultivan arroz, limones. - tienen un canal de riego. -capilla. -gas domiciliario -tiendas. -tiene un centro poblado de 92 familias. - cementerio - tiene vías de acceso carretera. - mucha basura en la vereda -quebrada la manteca -está rodeada por canales de riego - limita con el rio Saldaña	

Tabla 65. Cartografía social generada por actores de los Municipios de Saldaña y Suárez. (Continuación).

MUNICIPIO: SALDAÑA	
Vereda Cerritos y San Agustín	
Los participantes plasmaron en el mapa: CERRITOS -tiene escuela, no tienen profesor, los niños van a purificación. -puesto de salud, pero no funciona. - polideportivo. -cultivan arroz, mango, jornales -tienen canal de riego. - no tienen acueducto. -se abastecen de un acueducto de purificación y de aljibes, agua muy salada -gas domiciliario - cuenta con vía de acceso carretera destapada. -cielo abierto, pozo séptico SAN AGUSTIN -tienen escuela primaria. -alcantarillado funciona la mitad de la vereda. -polideportivo. -tienen pozo séptico. -tienen acueducto fuera de servicio. - aljibes. -gas domiciliario -cultivan arroz. -tienen canal de riego. - tiene carretera. -tiene erosiones. -colinda con el rio Saldaña.	

Tabla 65. Cartografía social generada por actores de los Municipios de Saldaña y Suárez. (Continuación).

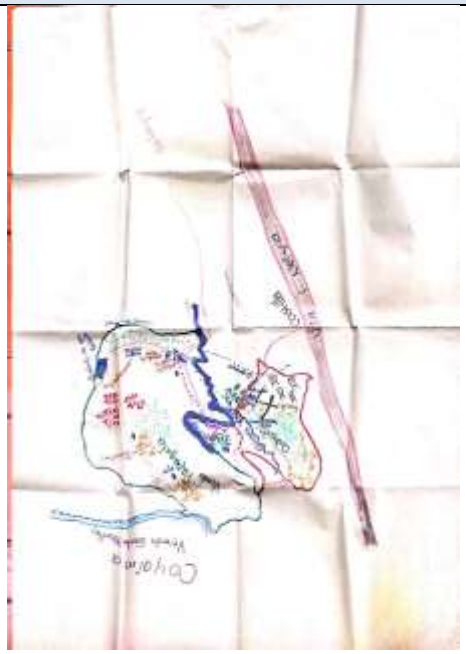
MUNICIPIO: SALDAÑA	
Vereda Papagala y Cucharo	
Los participantes plasmaron en el mapa: PAPAGALA -cuenta con acueducto, pozo profundo -escuela de primaria. -colegio de bachillerato. -Cultivos de arroz, frutales mango, limón, naranja. -quebradas papagala, y doyare. -polideportivo. -capilla. -gas domiciliario -cuenta con vías de acceso CUCHARO -escuela de primaria. -cultivos de arroz, mango, limones, y ganadería. -gas domiciliario -quebradas cucharo, guarapo. -se surten del acueducto de papagala. -tiene vías de acceso.	

Tabla 65. Cartografía social generada por actores de los Municipios de Saldaña y Suárez. (Continuación).

MUNICIPIO: SALDAÑA	
Vereda Progreso y la Esperanza	
Los participantes plasmaron en el mapa: LA ESPERANZA -tiene escuela y polideportivo. -tiene vías de acceso. -no hay acueducto fuera de servicio - algunas tienen aljibe. -cultivos de arroz y cachaco. -Gas domiciliario -tienen un canal de riego EL PROGRESO -colinda con el rio Saldaña. - no tienen escuela. -algunas viviendas tienen pozo séptico y otras letrinas. - no hay acueducto, algunas tienen aljibe. -cultivos de arroz y cachaco. -tienen un canal de riego llamado Ospina Pérez. -gas domiciliario - tiene vías de acceso.	

Tabla 65. Cartografía social generada por actores de los Municipios de Saldaña y Suárez. (Continuación).

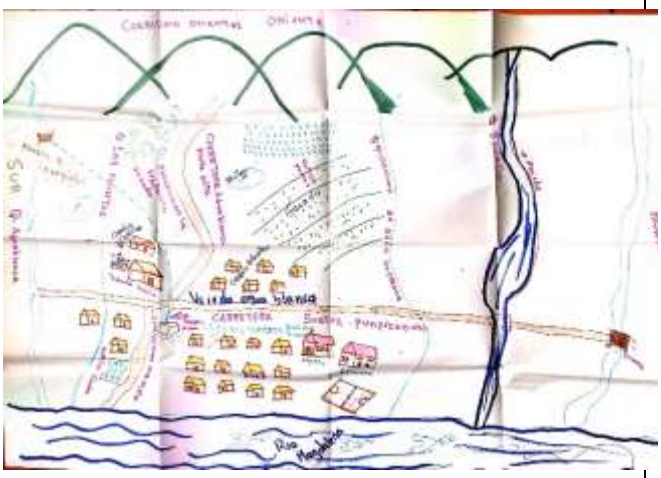
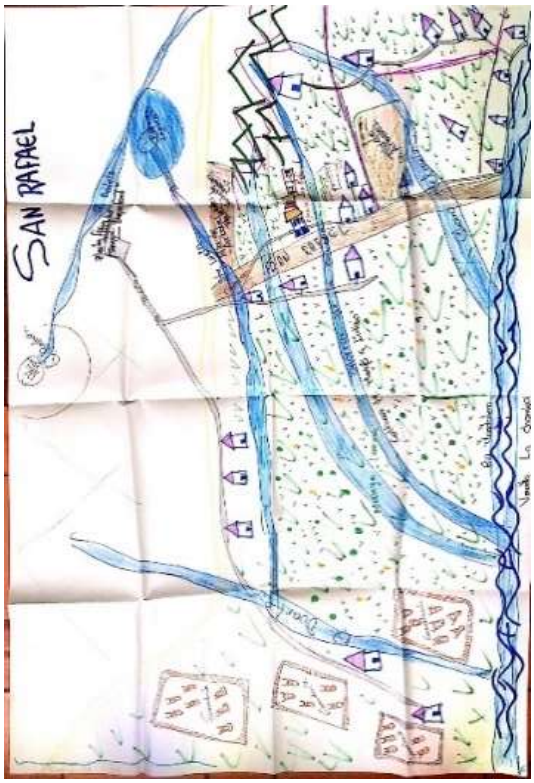
MUNICIPIO: SUÁREZ	
Vereda agua Blanca	
Los participantes plasmaron en el mapa: -tiene acueducto. -escuela. -Es zona ganadera. -cultivan limón. - hay una parcelación llamada maporita del INCODER. -tiene zonas de erosión. - tiene vía de acceso. -Quebradas pichincha, bacalla, los muertos, agua blanca. -tienen acueducto. -Escuela con polideportivo. -capilla. -limita con la cordillera oriental, rio magdalena, - hay lagos para cría de peces. - tiene cancha de tejos. - tiendas -tiene carretera	

Tabla 65. Cartografía social generada por actores de los Municipios de Saldaña y Suárez. (Continuación).

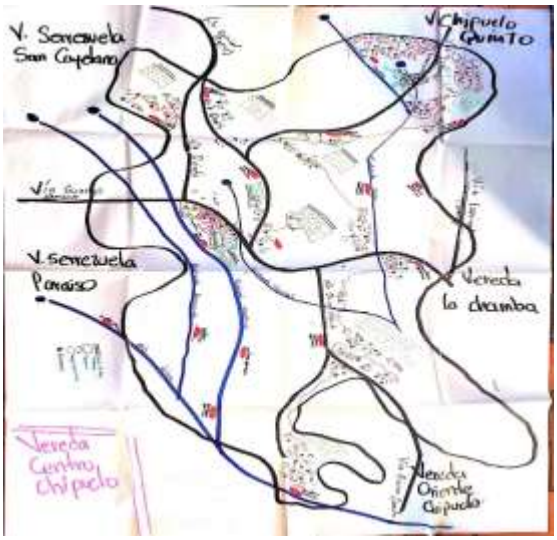
MUNICIPIO: SUÁREZ	
Vereda Bacalla Batatas	
Los participantes plasmaron en el mapa: -cuenta con una escuela -zona ganadera. - cultivan limón. - cuentan con acueducto. -tiene zona de bosque. Fuentes hídricas quebrada batatas, yeguas, chorro agua mascada. Chorro petiguey. -limita con el rio magdalena. - tiene nacimientos. - cuenta con una carretera.	
MUNICIPIO: SUÁREZ	
Vereda Las Mesas	
Los participantes plasmaron en el mapa: -tiene varias torres repetidoras. -escuela. -quebrada la honda, rio frio, colinda con el rio magdalena. -tiene una carretera. - tiene capilla esta averiada por la erosión. -cultivan cacao. - limita con el municipio de Cunday. - la escuela tiene polideportivo. - la tierra a cambiado ya no sirve para cultivar por las petroleras. - hay ganado, pero para el consumo.	

Tabla 65. Cartografía social generada por actores de los Municipios de Saldaña y Suárez. (Continuación).

MUNICIPIO: SUÁREZ	
Vereda San Rafael	
Los participantes plasmaron en el mapa: -cuentan con escuela primaria con cancha. - hay acueducto veredal se surte de la quebrada batatas. - hay mucha ganadería. -Cultivan mango y limón. - hay tala de árboles para venta de madera. - quebrada santa licia y termina en una laguna. - quebrada de la escuela, melani, duarte. - colinda con el rio magdalena.	

Fuente: Elaboración propia. Proagua, 2018.

Tabla 72. Cartografía social generada por actores del Municipio del Guamo.

MUNICIPIO: GUAMO	
Vereda Centro Chipuelo	
-En la vereda Centro Chipuelo habitan 175 familias, para un total de 490 personas. -Cuentan con una escuela de primaria "sede la Chamba", cuenta con 3 profesores. -No hay comunidades indígenas. -Se transportan en carros particulares o moto, no cuentan con una ruta intermunicipal. -Son cultivadores de arroz, maíz, algodón, tienen producción de ganadería, algunas reces producen leche de la que sacan la cuajada para la producción de bizcocho, alguna familia tiene aves de postura, producen también cachama y mojarra. Cuentan con el rio Magdalena, rio Luisa, Quebrada Guadua. -En la vereda cuentan con 4 tiendas de abarrote, una panadería, y dos expendios de cerveza. - Entre otras actividades económicas tienen mango, limón, y cachaco. -No cuentan con acueducto. - La energía la presta Enertolima. -No hay recolección de residuos sólidos. -Cuentan con servicio de gas domiciliario lo presta la empresa de Alcanos. -La telefonía celular la presta claro y movistar. -Los residuos sólidos los queman. -Las viviendas cuentan con pozo séptico. -Las aguas residuales van por toda la vereda. -No cuentan con puesto de salud, se trasladan hasta el hospital del Guamo. -Tienen conflictos por la construcción del acueducto. -Celebran fechas como la del **Corpus Christi**, San Pedro y San Juan. -Cuentan con una capilla donde se celebra la liturgia con regularidad.	

Fuente: Elaboración propia a partir de talleres de cartografía social. Proagua, 2018.

11 INVENTARIO DE PUNTOS DE AGUA

11.1 Metodología.

La metodología empleada para el censo de usuarios del recurso hídrico subterráneo que hace parte de la fase de diagnóstico del Plan de Manejo Ambiental del Acuífero Sur del Tolima, se desarrolla en tres etapas complementarias que proporcionaron como resultado el diagnóstico del estado de la demanda del agua del acuífero.

ETAPA UNO: La primera etapa consistió en la recopilación de la información primaria y secundaria, se inicia la revisión de expedientes de concesiones de agua de fuentes superficiales y subterráneas tomado como base el listado maestro entregado CORTOLIMA, en el cual se estipula el número de expedientes de concesiones que fueron otorgadas a los usuarios del recurso.

De este listado se filtra las concesiones de agua que se ubiquen dentro del área de influencia del acuífero.

ETAPA DOS: se realiza la capacitación del personal responsable del inventario de usuarios del agua; se indicó el objeto del contrato, los equipos que se utilizarían en campo, como se debía abordar a cada usuario del agua y de manera muy detallada la forma como se diligencia los formatos RURH y FUNIAS, suministrado por la Corporación.

Por último, se entregaron a los técnicos de campo siguientes equipos y materiales:

- Equipos para la toma en situ de pH, temperatura y conductividad,
- Una sonda eléctrica para medir los niveles estáticos del agua en los pozos y aljibes,
- Cartografía con información básica y temática asociada a predios,
- Estique para ser pegado en cada predio encuestado
- Materiales de oficina,
- Chaleco y carnet para identificación del personal en el área de estudio.
- Información asociada a los expedientes por cada municipio.

La realización del censo de Usuarios del Recurso Hídrico Subterráneo cuenta con equipo de trabajo conformado de la siguiente manera.

- 10 técnicos de campo
- 1 coordinador de campo.
- 1 Auxiliar de coordinador.
- 3 Digitadores de información recolectada en campo

Teniendo en cuenta lo anterior se da apertura de campo a los técnicos para realizar la recopilación de información en campo, en los Municipios de Coyaima, Natagaima, Purificación Prado, Ortega, dando a conocer a cada técnico cuál es su área de estudio. En total se realizaron 2742 encuestas.

ETAPA TRES: Verificación de la información recopilada en campo por cada uno de los técnicos, la cual consistió en tomar de manera aleatoria tres encuestas por cada vereda, llamar al usuario que atendió al técnico y además visitarlo y por último se realizaron recorridos por las diferentes veredas para revisar que efectivamente el técnico encuestó todos los predios que hacen uso del agua Subterránea y/o superficial. Por último, cada encuesta es revisada que esté bien diligenciada y que contenga toda la información que se puede compilar en campo.

ETAPA CUATRO: Cargue de la base de datos del FUNIAS y/o RURH. Esta se inició luego de hacer la revisión de cada una de las encuestas y del trabajo de verificación. Consistió en digitar la información recopilada en campo al archivo FUNIAS y/o RURH suministrado por CORTOLIMA para tal fin. A la fecha se han digitado la información de 2234 encuestas.

11.2 Revisión de expedientes de concesiones de agua superficial

La corporación de CORTOLIMA suministró un listado maestro de los expedientes de usuarios del agua que están ubicados en los municipios que tienen incidencia en el área de influencia del acuífero. A partir de este listado se realizó la revisión de los expedientes de las concesiones de agua superficial y subterránea que efectivamente están dentro de la zona del proyecto, los cuales están archivados en la oficina principal de la corporación y en algunas oficinas territoriales. La revisión se llevó a cabo del 26 de febrero al 27 de abril del año en curso, tiempo el cual se alcanzaron a revisar 173 expedientes, ver Tabla 73. Es importante mencionar que el número de concesiones es igual al número de expedientes en este documento.

Tabla 73. Número de expedientes por municipio y fecha de revisión.

Territorial	Municipio	Número de expedientes revisados	Fecha de revisión de expedientes
Sur Oriente (Purificación)	Natagaima	24	05/03/2018 – 12/04/2018
	Coyaima	34	
	Prado	29	
	Saldaña	8	
	Guamo	15	
	Purificación	28	
Sur (Chaparral)	Ortega	8	26/04/2018 – 27/04/2018
Oriente (Melgar)	Suarez	10	16/04/2018 – 17/04/2018
Central (Ibagué)	San Luis	17	26/02/2018 – 02/03/2018

Fuente: Elaboración propia a partir de la información compilada en CORTOLIMA. Proagua, 2018.

11.2.1 Municipio de Natagaima

Se realizó la revisión de expedientes del municipio de Natagaima en la sede de CORTOLIMA, territorial sur oriente ubicada en el municipio de Purificación. Se puedo evidenciar que 17 expedientes, los cuales corresponden al 28%, se encuentran sin número o código de referencia, razón por la cual no fueron revisados. Se trabajó sobre 44 expedientes que si tienen el número de referencia, los cuales se tomaron como el total de expedientes a revisar.

Se revisaron finalmente 24 expedientes (55%) de los 44 a revisar. No se pudo realizar la verificación de los 20 expediente restantes, pues se encuentran en otras dependencias como la jurídica y revisión técnica. Esta información fue suministrada por la ingeniera civil Claudina Godoy, quien maneja toda la parte del recurso hídrico en la territorial de municipio de purificación.

Del porcentaje que no se revisó se resalta que: los expedientes 1968 y 225 no existen en la corporación, los expedientes 1562, 1514 y 05-007 se encuentran en área técnica para liquidar y visita de seguimiento, razón por la cual no se encuentran disponibles en archivo. Además, los expedientes 005-07 y 154 se encuentran archivados e inactivos según la resolución 0704 de 30 de diciembre de 2015 y resolución 0323 de 27 de septiembre de 2016 respectivamente. El expediente 040-07 se encuentra listo para archivar, en el listado maestro aparece como expediente 061, pero éste no existe en la corporación, los datos pertenecen al expediente 040-07.

Teniendo en cuenta los 24 expediente revisados, se evidencia que para el municipio de Natagaima el 50% de los expedientes son concesiones otorgadas a usuarios de persona natural, lo cual corresponde a 12 expedientes, y los otros 12 expedientes son concesiones otorgadas a persona jurídica pública y privada.

Como podemos evidenciar en la Tabla 74, 5 expedientes (11%) del total no cuentan con documento de identificación, por otro lado 24 expedientes (55%) no cuentan con georreferenciación del predio beneficiado, evidenciando la falta de documentación en los expedientes de las concesiones de agua. Además, 13 expedientes (13%) no tienen teléfono, 3 (7%) no presentan cedula catastral y 2 (2%) se encuentran sin matrícula inmobiliaria.

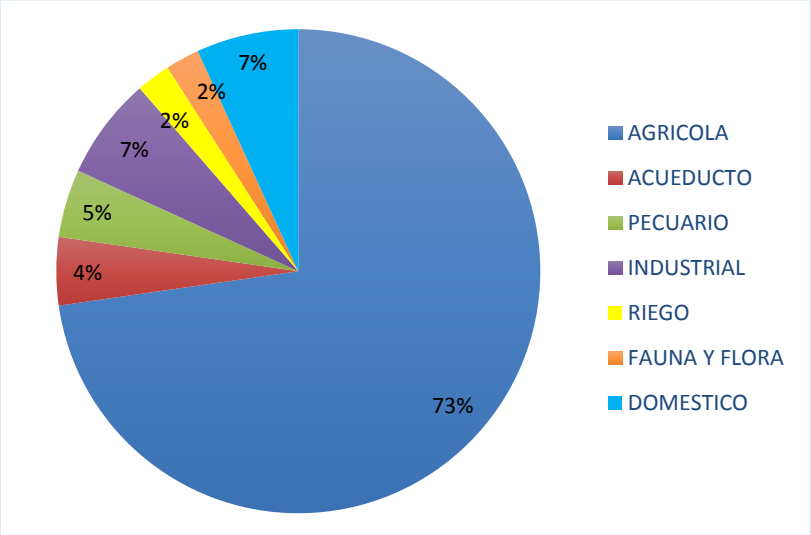
Tabla 74. Información faltante de los Expedientes revisados del Municipio Natagaima

Ítems	Número de expedientes
Expediente sin documento	5
Sin teléfono	13
Sin cedula catastral	3
Sin matrícula inmobiliaria	2
Sin georreferenciación del predio beneficiado	24
Total de expedientes a revisar	**44**

Fuente: Elaboración propia a partir de la información compilada en CORTOLIMA. Proagua, 2018.

Según el listado maestro inicial, las concesiones son otorgadas principalmente para actividades agrícolas, con 32 expedientes que corresponden al 73%. El uso doméstico y el uso industrial cuentan con 3 expedientes proporcionales al 7% para cada uno. Solo el 2%, que corresponde a 1 expediente presentan el uso los sistemas de riegos, fauna y flora, Figura 68.

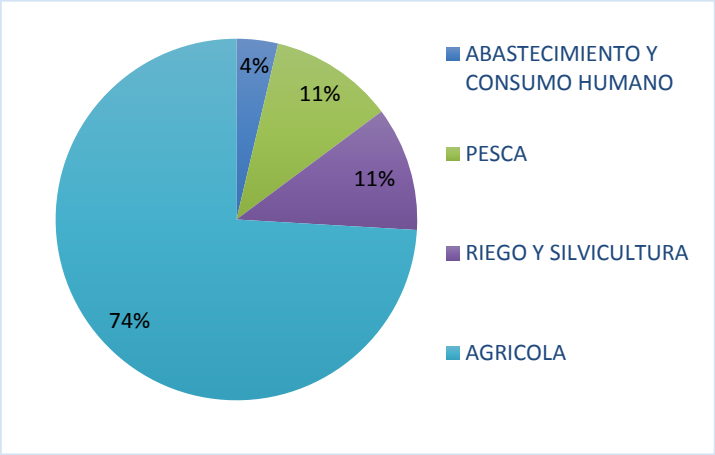
Figura 68. Usos de las concesiones según listado maestro del Municipio de Natagaima.



Fuente: Elaboración propia a partir de la información compilada en CORTOLIMA. Proagua, 2018.

Con respecto a la verificación de la información contenida en los expedientes y resoluciones y a los informes de las visitas técnicas realizadas por el personal de CORTOLIMA, se puede inferir que el 74% de los archivos verificados, referentes a 18 concesiones de agua, son otorgadas en su mayoría para uso agrícola, seguido de 3 expedientes (11%) otorgados para pesca, y 3 expedientes (11%) para riego y silvicultura. Solo un expediente (4%) esta otorgado para abastecimiento y consumo humano. No existe concesión para abrevaderos, ver Figura 69.

Figura 69. Usos según visita técnica de seguimiento, Municipio de Natagaima.



Fuente: Elaboración propia a partir de la información compilada en CORTOLIMA. Proagua, 2018.

Del total de los 24 expedientes revisados, el 50% tiene las concesiones en vigencia con un total de 12 expedientes, y el 50% restante (12 expedientes) están con las concesiones vencidas, por lo cual requieren revisión técnica y diligenciar renovación de la concesión.

Por otro lado, según la Tabla 75, del total de los expedientes revisados del municipio de Natagaima, el 100% (24 expedientes) cuenta con sistema de aducción, el 4% (1 expediente) tiene sistema de desarenador, el 96% (23 expedientes) tienen red de distribución, y cuentan además con tanque de almacenamiento. Ninguna de las concesiones cuenta con planta de tratamiento para potabilización de agua, y en los casos donde no cuenta con tanque de almacenamiento el agua pasa por la aducción, luego red de distribución y va directo al sistema de riego.

Tabla 75. Componentes del sistema de Abastecimiento, Municipio de Natagaima.

Sistema de abastecimiento	Número de expedientes
Aducción	24
Desarenador	1
Red de distribución	23
Tanque	23

Fuente: Elaboración propia a partir de la información compilada en CORTOLIMA. Proagua, 2018.

Teniendo en cuenta las visitas técnicas realizadas por los funcionarios de CORTOLIMA, que hacen parte de los expedientes, se determinó que, del total de las concesiones, el 92% tiene un estado de captación bueno, donde es visible una buena cobertura vegetal, un 4% está en estado regular y un 4% se encuentra en mal estado, por falta de construcción de obra de captación y abandono.

11.2.2 Municipio de Coyaima.

Se realizó la revisión de expedientes del municipio de Coyaima en la sede de CORTOLIMA territorial sur oriente, en el municipio de Purificación, entre el 5 de marzo y 12 de abril de presente año. En el listado maestro figuran 35 expedientes de concesiones de agua, de los cuales se trabajó solo con 33 que corresponden al 94%, ya que el 6% (2 expedientes) del listado restante se encontraban sin código. En la revisión de los 33 expedientes se diligencio además la información de las concesiones cuyos puntos de captación se encuentran fuera del área de influencia, pero realizan el vertimiento dentro del área del acuífero.

Del total de expedientes revisados, se observó que el 64% fue otorgado a usuarios que registran como persona natural, representado en 21 expedientes. El 36% restante, equivalentes a 12 expedientes, figuran como persona jurídica, de los cuales 2 (17%) son jurídico público y 10 (83%) son jurídico privado.

Del total de las concesiones revisadas, 12 expedientes (33%) no presentan documento del usuario, 28 (85%) se encuentran sin datos de cedula catastral y 18 (55%) sin matrícula inmobiliaria. Además, 12 (36) expedientes no tienen número de teléfono y 13 (39%) no tienen georreferenciación del predio beneficiado de la captación de recurso hídrico, ver *Tabla 76*.

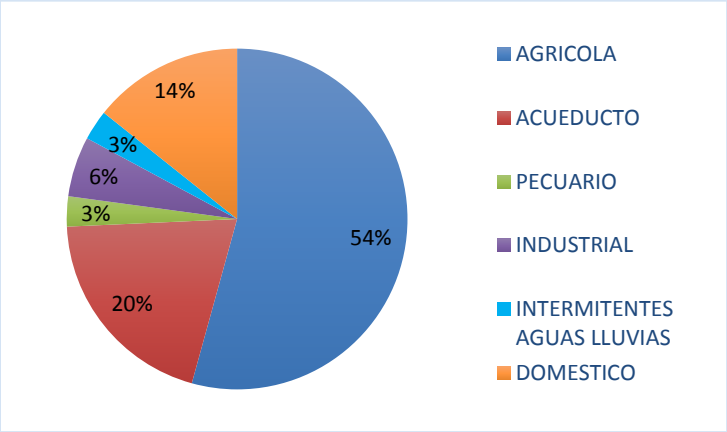
Según el listado maestro inicial, el 54% de las concesiones fueron otorgadas para uso agrícola, lo cual corresponde a 19 expedientes, seguido de un 20% (7 expedientes) para acueducto, perteneciente a la asociación de acueducto interveredal Meche – Buenavista – Sanja - Honda y el acueducto interveredal Coyaima - Tolima. Solo el 3% (1 expediente) fue otorgado para uso pecuario y lluvias, ver Figura 70.

Tabla 76. Información faltante de los Expedientes revisados del Municipio de Coyaima

Ítems	Número de expedientes
Expediente sin documento	12
Sin teléfono	12
Sin cedula catastral	28
Sin matrícula inmobiliaria	18
Sin georreferenciación del predio beneficiado	13
Total, de expedientes	**33**

Fuente: Elaboración propia a partir de la información compilada en CORTOLIMA. Proagua, 2018.

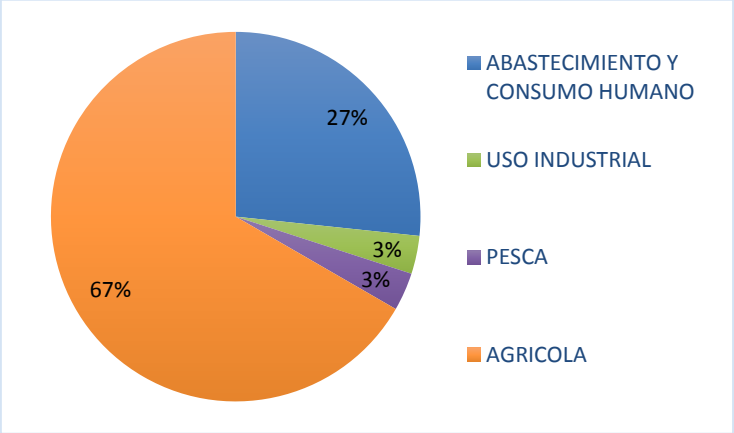
Figura 70. Usos de la concesión según listado maestro del Municipio de Coyaima.



Fuente: Elaboración propia a partir de la información compilada en CORTOLIMA. Proagua, 2018.

De acuerdo a los informes de revisión técnica y a las concesiones revisada, se define que, el porcentaje para uso agrícola representa un 67% (22 expedientes), seguido de un 27% (9 expedientes) para abastecimiento y consumo humano y un 3% (1 expediente) para uso industrial y para pesca, Figura 71 .

Figura 71. Usos según visita técnica de seguimiento, del Municipio de Coyaima.



Fuente: Elaboración propia a partir de la información compilada en CORTOLIMA. Proagua, 2018.

En la revisión de los expedientes del municipio de Coyaima, se determinó que un 83% (27 expedientes) de las concesiones con auto de resolución se encuentran vencidas, el 17% (6 expedientes) de las concesiones restantes se encuentran vigentes; razón por la cual se encuentran algunos expedientes en área de revisión técnica y área jurídica en proceso de renovación de la concesión.

Dentro de la verificación de los expedientes, se encontró que el 67% de las concesiones (22 expedientes) cuentan con un sistema de aducción, las 13 restantes no cuenta con este sistema debido a que la información contenida en los archivos de los expedientes especifica que la fuente hídrica son jagüey y mana de aguas no los requieren. El 18%de los usuarios (6 usuarios) presentan uso de desarenador en el sistema de abastecimiento, el 6% (2 usuarios) cuenta con planta de potabilización de agua, el 6% (2 usuarios) cuenta con red de distribución y un 58% (19 usuarios) cuenta con sistema de almacenamiento, ver Tabla 77.

Tabla 77. Componentes del sistema de Abastecimiento del Municipio de Coyaima.

Sistema de abastecimiento	Número de expedientes
Aducción	22
Desarenador	6
Red de distribución	2
Tanque	19
PTAP	2

Fuente: Elaboración propia a partir de la información compilada en CORTOLIMA. Proagua, 2018.

De los informes de revisión técnica que hacen parte de los expedientes revisados, se concluye que el 86% (28 expedientes) se encuentra en un buen estado, con buena cobertura vegetal y en correcto funcionamiento y el 14% (5 expedientes) se encuentra en estado regular y requieren mantenimiento.

11.2.3 Municipio de Prado.

Se realizó la revisión de expedientes del municipio de Prado en la sede de CORTOLIMA territorial sur oriente, en el municipio de Purificación, entre el 5 de marzo y 12 de abril de presente año. En el listado maestro figuran 60 expedientes de concesiones.

Del listado maestro que fue proporcionado por la corporación ambiental, se encontró que el 7% no cuentan con código o número de expediente, razón por la cual solo se revisó el 93% de los expedientes, que corresponde a 56 expedientes.

De los 56 expedientes, se logró revisar el 52%, que equivale a 29 expedientes, los expedientes restantes no se diligenciaron ya que el 39% se encontraban en veredas fuera del área de influencia del acuífero y el 9% de los expedientes restantes no se revisó ya que se encuentran en las áreas de revisión técnica y jurídica.

De los 29 expedientes revisados, los expedientes: 362, 1177, 1225, 1353 y 2070 no cuentan con georreferenciación de los predios beneficiados de la concesión de agua ni del punto de captación del recurso hídrico. Además, el 66%, 20 expedientes, pertenece a usuarios de persona natural y el 34%, 9 expedientes, corresponde a usuarios jurídicos. Estos últimos están

divididos en 78% como jurídico privado y 22%como jurídico público. Los expedientes jurídicos públicos representan los dos acueductos del municipio de Prado, el acueducto de la vereda la Malta y el acueducto de la alcaldía municipal de Prado.

Del total de expedientes revisados, se evidencio la ausencia de información básica de las concesiones, el 10% de los expedientes se encuentra sin documento de identidad del usuario a quien se concesiona el recurso hídrico, el 24% no registra número de teléfono, el 72% no cuenta con cedula catastral, el 58% no posee datos de matrícula inmobiliaria y el 41,4% se encuentra sin datos de georreferenciación del predio beneficiado con la concesión, ver Tabla 78.

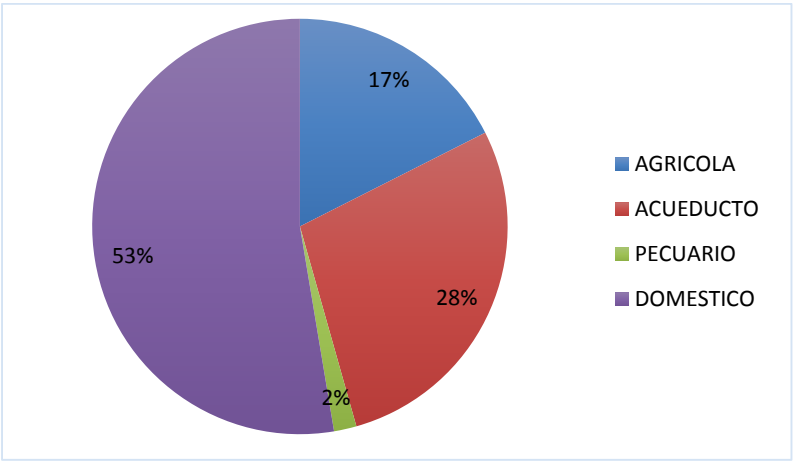
Tabla 78. Información faltante de los Expedientes revisados del Municipio de Prado.

Ítems	Número de expedientes
Expediente sin documento	3
Sin teléfono	7
Sin cedula catastral	21
Sin matrícula inmobiliaria	17
Sin georreferenciación del predio beneficiado	12
Total de expedientes	**29**

Fuente: Elaboración propia a partir de la información compilada en CORTOLIMA, Proagua 2018.

Según lo establecido en el listado maestro inicial, el 53% de las concesiones, que corresponde a 32 expedientes, son otorgadas para uso doméstico, seguido del 28%, 17 expedientes, las cuales son concesionados para acueducto. Un 17%, equivalente a 10 expedientes, se concesiona para uso agrícola y un 2% para uso pecuario, Figura 72.

Figura 72. Usos de la concesión según listado maestro del Municipio de Prado

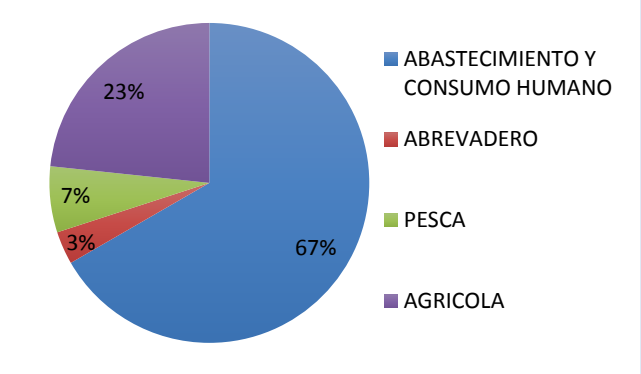


Fuente: Elaboración propia a partir de la información compilada en CORTOLIMA. Proagua, 2018.

Según los informes de visitas técnicas realizados por los funcionarios delegados por la corporación autónoma regional del Tolima y los expedientes revisados, se evidencio que el agua es concesionada mayormente para abastecimiento y consumo humano con un 67 %, como se evidencio en 20 de los 29 expedientes de concesiones de agua de la información que se encuentra en el listado maestro soportada por CORTOLIMA, ver Figura 73.

Observando la información suministrada en las últimas resoluciones de cada expediente, el 62% de las concesiones se encuentran vencidas, correspondiente a 18 expedientes, por tal motivo debe hacerse visita de seguimiento y control a esos predios y tramitar renovación de la concesión de agua. El 38% de las concesiones se encuentran vigentes.

Figura 73. Usos según visita técnica de seguimiento del Municipio de Prado.



Fuente: Elaboración propia a partir de la información compilada en CORTOLIMA. Proagua, 2018.

Del total de las concesiones revisadas, el 86% cuenta con sistema de aducción y red de distribución; el 79% cuenta con tanque de almacenamiento y solo el 7% cuenta con planta de tratamiento para potabilización del agua, ver Tabla 79. En la mayoría de los casos el agua es consumida sin ningún tratamiento previo.

Tabla 79. Componentes del sistema de Abastecimiento del Municipio de Prado.

Sistema de abastecimiento	Número de expedientes
Aducción	25
Desarenador	4
PTAR	2
Red de distribución	25
Tanque	23
Total de expedientes	**29**

Fuente: Elaboración propia a partir de la información compilada en CORTOLIMA. Proagua, 2018.

Se determinó en la revisión de archivos suministrados por la corporación autónoma regional del Tolima, verificados en los informes de visita técnica, que el 69% de los sistemas de

captación se encuentra en buen estado, como se refleja en 20 de los expedientes revisados, de igual manera se evidenció que el 15% se encuentra en estado de deterioro por abandono de predios y falta de mantenimiento, como en el caso del expediente número 2799 del acueducto de la vereda Chenchito.

11.2.4 Municipio de Saldaña

Se realizó la revisión de expedientes del municipio de Saldaña en la sede de CORTOLIMA, territorial sur oriente en el municipio de Purificación, entre el 5 de marzo y 12 de abril de presente año. Según el listado maestro en la corporación se encuentran 23 expedientes de concesiones, de los cuales 12 corresponden a fuentes de agua subterránea y 11 son de agua superficial. Del total de los 23 expedientes se revisó la información solo del 78%, el cual representa 18 expedientes, ya que el 22% restante se encuentran sin código.

De los expedientes que contenían código del listado maestro, se logró revisar el 28%, el cual equivale a 5 expedientes, el 72% restante, 13 expedientes, se encuentra en área de revisión técnica para visita de control y seguimiento, como el caso del expediente 1489 que se encuentra en Ibagué en el área de revisión técnica y el expediente 1383 que se encuentra fuera del área de influencia del acuífero ya que está ubicado en la vereda Palmar Arenosa.

Del total de los expedientes, el 40% de las concesiones, que corresponde a 2 de los 5 expedientes revisados, son otorgadas para persona natural, mientras que el 60% de las concesiones restantes, equivalentes a 3 expedientes, son otorgadas para persona jurídica, de las cuales el 100% corresponde al sector jurídico privado.

Del total de los expedientes revisados y diligenciados en la planilla del ministerio, registro único del recurso hídrico, RURH, se evidenció que el 20% de los usuarios concesionados no cuentan con datos de teléfono para contacto, el 80% no registra cedula catastral, el 20% no presenta matricula inmobiliaria y se encuentran sin georreferenciación del predio beneficiado de la captación un 40% de los usuarios, Tabla 80.

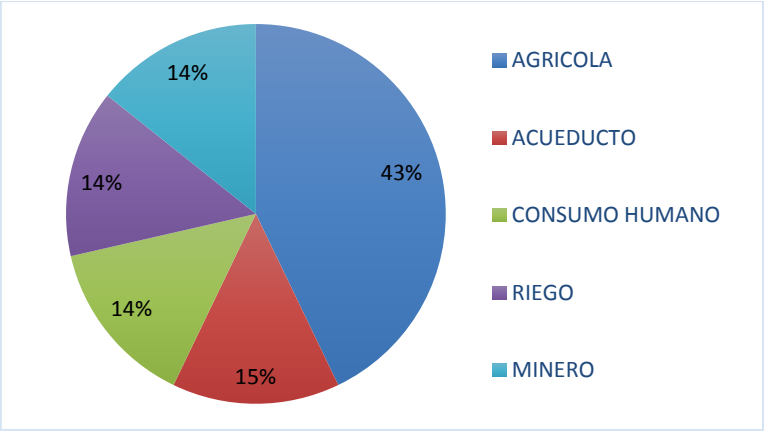
Tabla 80. Información faltante de los Expedientes revisados del Municipio de Saldaña.

Ítems	Número de expedientes
Sin teléfono	1
Sin cedula catastral	4
Sin matrícula inmobiliaria	1
Sin georreferenciación del predio beneficiado	2
Total de expedientes	**5**

Fuente: Elaboración propia a partir de la información compilada en CORTOLIMA, Proagua 2018.

Según la información tabulada en el listado maestro inicial, las concesiones de agua son otorgadas principalmente para uso agrícola con un 43%, equivalente a 10 expedientes, el cual es empleado en el cultivo principalmente de arroz, mango y frutales; Seguido de 15%, equivalente a 4 expedientes, utilizado para acueducto y un 14%, registrado en 4 expedientes son concesionados para consumo humano, riego y sector minero, ver Figura 74.

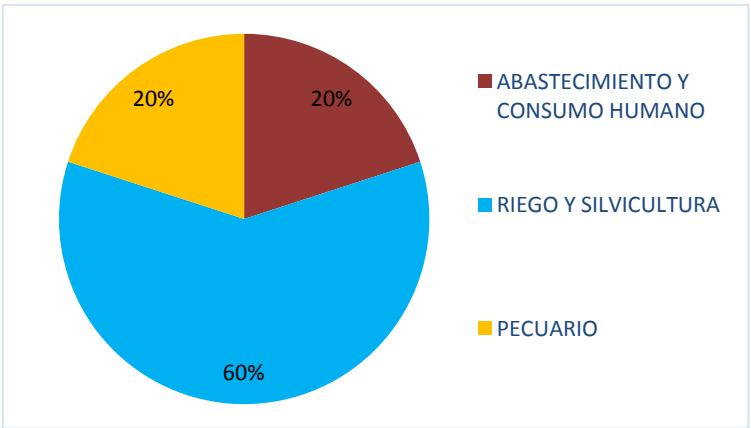
Figura 74. Usos de las concesiones según listado maestro del Municipio de Saldaña.



Fuente: Elaboración propia a partir de la información compilada en CORTOLIMA, Proagua 2018.

Según la revisión de los informes de visita técnica dispuestos en los expedientes, el 60% de las concesiones, 3 de los expedientes, se están utilizando para riego y silvicultura, 20%, equivalente a 1 expediente, para uso pecuario y 20% para abastecimiento y consumo humano. Se registra un acueducto de persona jurídica privada perteneciente a empresa de servicios públicos de Saldaña S.A.S, Figura 75.

Figura 75. Usos según visita técnica de seguimiento del Municipio de Saldaña.



Fuente: Elaboración propia a partir de la información compilada en CORTOLIMA. Proagua, 2018.

Del 100% de las concesiones revisadas, se halló que el 80% de estas se encuentran vencidas, 4 expedientes y solo el 20%, 1 expediente, es de concesión de agua que se encuentra en periodo

de vigencia. En la actualidad se adelantan procesos de revisión en área técnica y agendamiento de visitas para renovación de concesiones.

Del total de los expedientes revisados del municipio de Saldaña, el 80% cuenta con sistema de aducción y red de distribución y el 60% tiene sistema de almacenamiento en tanques, por lo tanto, el 40% van directamente de la red de distribución al área de riego, Tabla 81.

Tabla 81. Componentes del sistema de Abastecimiento

Sistema de abastecimiento	Número de expedientes
Aducción	4
Red de distribución	4
Tanque	3

Fuente: Elaboración propia a partir de la información compilada en CORTOLIMA. Proagua, 2018.

De la revisión técnica realizada por los funcionarios de la corporación ambiental regional CORTOLIMA dispuestas en los expedientes, se obtuvo la información del estado de las concesiones, donde se aprecia que el 40% se encuentra en estado bueno, 40% en estado regular y 20% en estado de abandono de predio, deterioro y con falta de mantenimiento.

11.2.5 Municipio de Guamo

Se realizó la revisión de expedientes del municipio de Guamo, en la territorial Sur oriente ubicada en el municipio de Purificación, entre el 5 de marzo y 12 de abril de presente año. El listado maestro del municipio de Guamo está compuesto por 100 expedientes, de los cuales solo se revisó el 75%, que corresponden a 75 expedientes, debido a que los restantes se encuentran sin código y no fue posible ubicarlos en el archivo de la corporación.

De los 75 expedientes se revisaron y diligenciaron en los formatos del RURH y FUNIAS finalmente un total de 15 expedientes, correspondientes al 13% del listado maestro, los cuales pertenecen a las veredas que se encuentran dentro del área de influencia del acuífero. A partir de 15 expedientes revisados, 8 son concesiones otorgadas a persona natural, lo cual corresponde a un 53% del total de los expedientes y los 7 expedientes restantes, pertenecen a persona jurídica privada y corresponden al 47% del total de los expedientes revisados.

Según la Tabla 82, se evidencia la ausencia de información básica en los expedientes. El 93% se encuentran sin el documento de la persona natural o representante legal a la cual se encuentra otorgada la concesión. Además, el 93% de las encuestas se encuentra sin datos de teléfono, el 13% no cuentan con datos de cedula catastral, el 33% presenta ausencia de matrícula inmobiliaria, y un 40% se encuentra sin datos de georreferenciación del predio beneficiado de la concesión, sin embargo, en todos los expedientes se encuentra reportado los datos de georreferenciación del punto de captación del agua, Tabla 82.

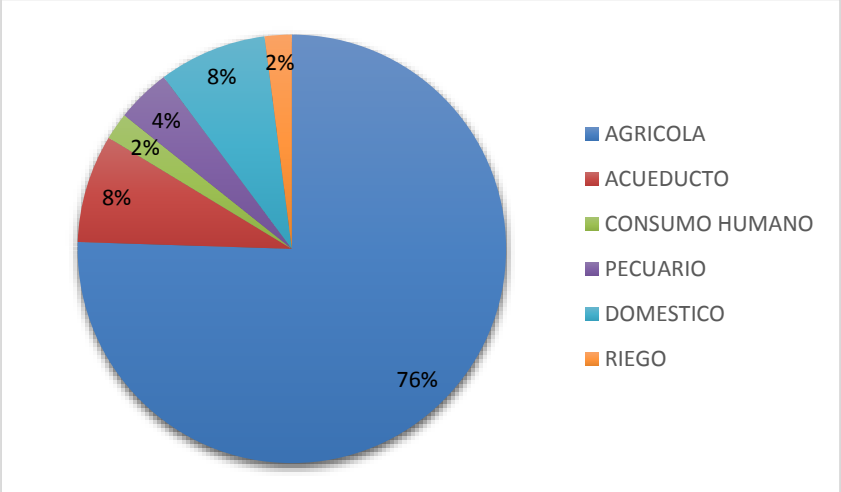
Tabla 82. Información faltante de los Expedientes revisados del Municipio Guamo.

Expedientes	Número de Expedientes
Expediente sin documento	14
Sin teléfono	14
Sin cedula catastral	2
Sin matrícula inmobiliaria	5
Sin georreferenciación del predio beneficiado	6
Total expedientes	**15**

Fuente: Elaboración propia a partir de la información compilada en CORTOLIMA. Proagua, 2018.

Teniendo en cuenta que en el listado maestro se reportan 100 expedientes de concesiones de agua para el municipio de Guamo, se observa que 76 (76%) concesiones son otorgadas para uso agrícola, 8 pertenecen a acueductos, 8 son otorgadas para uso doméstico, 4 para uso pecuario y 2 para riego y consumo humano, Figura 76.

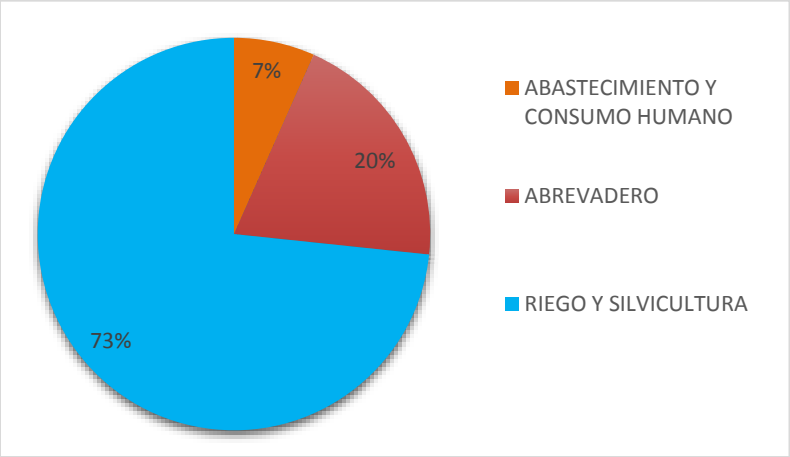
Figura 76. Uso de la concesión Según el Listado Maestro del Municipio Guamo.



Fuente: Elaboración propia a partir de la información compilada en CORTOLIMA. Proagua, 2018.

Según los informes de visitas consignados en los expedientes, se reporta que el 73%, correspondiente a 11 expedientes, son otorgados para uso en riego y silvicultura, 3 son otorgados para uso de abrevaderos de animales y 1 concesión es otorgada para uso doméstico, Figura 77.

Figura 77. Uso de la concesión Según Visita de Seguimiento del Municipio de Guamo.



Fuente: Elaboración propia a partir de la información compilada en CORTOLIMA. Proagua, 2018.

De los 15 expedientes, 8 se encuentran con las concesiones vencidas, lo cual supone una solicitud de visita técnica y renovación de la concesión, el 44% restantes, correspondiente a 7 expedientes se encuentran en periodo de vigencia de concesión.

Del total de los expedientes revisados, 12 correspondientes al 80%, cuentan con sistema de aducción, según lo reportado en los informes de visita técnica. Los expedientes 044 y 2995 son concesiones otorgadas para uso de aguas lluvias en cantidad de 100% del agua que puedan recolectar los usuarios, razón por la cual en el informe de visita no se especifica un sistema de abastecimiento para la recolección. El 7% correspondiente a 1 expediente, el 207 perteneciente a la empresa Pollos Savicol S.A., la cuenta con sistema de planta de tratamiento y potabilización de agua, y el expediente 045 perteneciente al usuario Sociedad comercial La Matilda, quien cuenta con desarenador en su sistema de tratamiento. El 67% de las concesiones cuentan con red de distribución y el 53% cuentan con tanque de almacenamiento, por lo que el 47% de las concesiones restantes se distribuyen directamente a riego, Tabla 83.

Tabla 83.Componentes del sistema de Abastecimiento.

Sistema de abastecimiento	Número de Expedientes
Aducción	12
Desarenador	1
Ptap	1
Red de distribución	10
Tanque	8

Fuente: Elaboración propia a partir de la información compilada en CORTOLIMA. Proagua, 2018.

De los 15 expedientes revisados, 14 registran en la última visita técnica realizada por técnicos de campo de CORTOLIMA un estado óptimo de la captación, 1 expediente correspondiente al 7% del total de los expedientes revisados tiene en mal estado el sistema de captación.

11.2.6 Municipio de Purificación

Se realizó la revisión de expedientes del municipio de Purificación en la territorial sur oriente, entre el 5 de marzo y 12 de abril de presente año. En el listado maestro figuran un total de 56 expedientes, de los cuales 2 correspondientes al 3%, no fueron hallados en la corporación, ya que se encuentran sin código en el listado maestro. Los 54 restantes tienen código, sin embargo, no se diligencio el total de los expedientes, teniendo en cuenta que el área de influencia del acuífero no abarca todas las veredas del municipio.

De los 54 expedientes del listado maestro se revisó y diligencio en las planillas RURH y FUNIAS el 52% correspondientes a 28 expedientes de concesiones de agua, los cuales pertenecían a las veredas que se encuentran dentro del área de influencia del acuífero. De los cuales se obtiene que el 64% correspondiente a 18 expedientes, pertenecen a usuarios de persona jurídica, discriminado de la siguiente manera: 9 expedientes otorgados a persona jurídica privada y 1 expediente otorgado a persona jurídica pública. El 36% restante corresponde a 10 expedientes pertenecen a persona natural.

De la información revisada de los expedientes, se observó sin documento el 5% del total de los expedientes, el 21% correspondiente a 12 expedientes se encontraron sin datos de cedula catastral, el 25% no registra datos de matrícula inmobiliaria y un 36% correspondiente a 20 expedientes se encontraron sin datos de georreferenciación del predio, sin embargo, se registró datos de georreferenciación del lugar de captación, Tabla 84.

Tabla 84. I Información faltante de los Expedientes revisados del Municipio de Purificación.

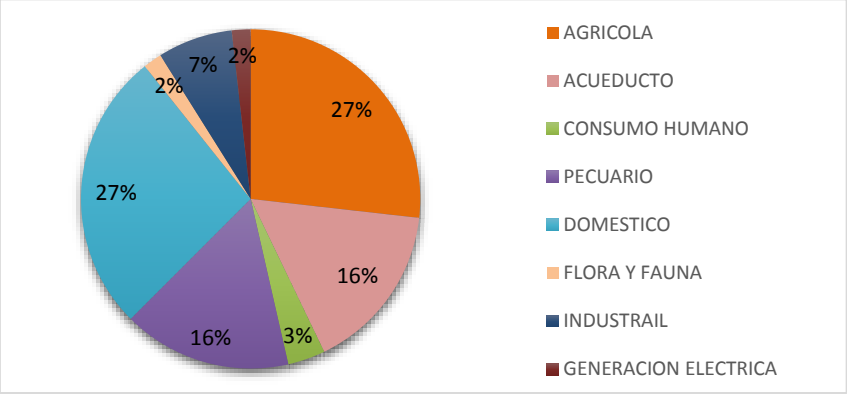
Expedientes	Número de Expedientes
Expediente sin documento	3
Sin teléfono	1
Sin cedula catastral	12
Sin matrícula inmobiliaria	14
Sin georreferenciación del predio beneficiado	20
Total expedientes	28

Fuente: Elaboración propia a partir de la información compilada en CORTOLIMA. Proagua, 2018.

Según el listado maestro inicial, se discrimina el uso de las concesiones de la siguiente manera: se otorga un 27% correspondiente a 15 expedientes para uso doméstico, al igual que para uso agrícola, un 16% que corresponde a un equivalente de 9 expedientes de concesiones

para uso pecuario y acueducto, 4 expedientes pertenecen a concesiones otorgada para uso industrial, el cual representa un 7% del total de expedientes, ver Figura 78.

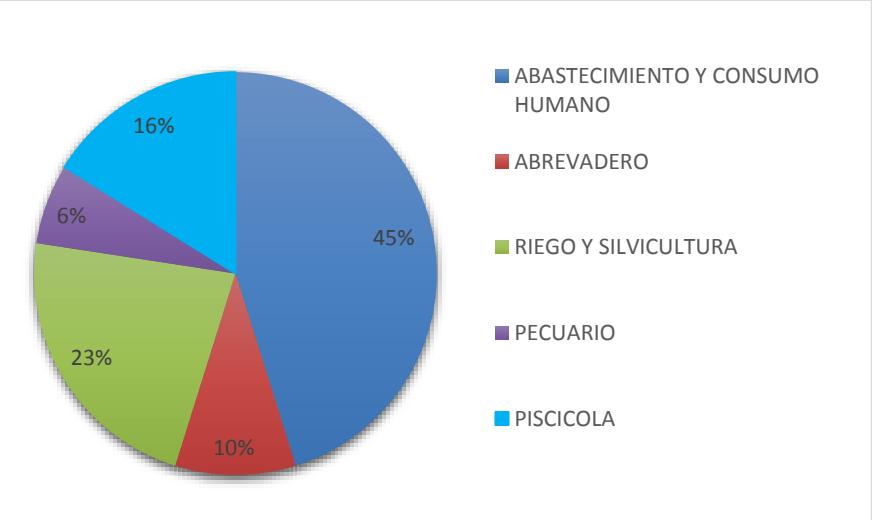
Figura 78. Usos de la concesión según listado Maestro del Municipio de Purificación.



Fuente: Elaboración propia a partir de la información compilada en CORTOLIMA. Proagua, 2018.

Según los informes más recientes de visita técnica, realizados por el equipo de área de revisión técnica de CORTOLIMA, se concluye que el 45% de los expedientes, pertenecientes a 14 concesiones, son otorgados para uso doméstico, el 23% que corresponde a 7 expedientes de concesiones de agua son otorgadas para actividades de riego y silvicultura, resaltando las siembras de arroz y frutales, el 16% corresponde a 5 expedientes concesionadas para uso y mantenimiento de tanques para desarrollo de actividades piscícolas. El 6% es utilizado para abrevaderos de animales como vacunos, cerdos y gallinas, Figura 79.

Figura 79.Usos según Visita de Seguimiento del Municipio de Purificación.



Fuente: Elaboración propia a partir de la información compilada en CORTOLIMA. Proagua, 2018.

Del total de los expedientes revisados, el 68% que corresponde a 18 concesiones se encuentran en periodo de vigencia, el 32% correspondiente a 10 expedientes de concesiones se encuentran con la concesión vencida debido a que ya cumplieron el periodo de vigencia, motivo por el cual se ordena pago de tarifa para visita de revisión técnica y adelantar tramites de renovación de concesión de agua.

Del total de expedientes, se registra en informes de visita técnica realizados por la corporación regional CORTOLIMA, un 86% de los expedientes cuentan con sistemas de aducción, un 75% cuenta con red de distribución, un 11% correspondiente a 3 expedientes cuentan con planta de tratamiento y potabilización del agua, los cuales son: 2370 perteneciente a la empresa de servicios públicos domiciliarios de Purificación ("PURIFICA E.S.P.), 2771 de la Junta de acción comunal de la vereda San Diego y 203 concesión otorgada para el predio Finca Galicia. Ver Figura 80.

Tabla 85. Componentes del Sistema de Abastecimiento del Municipio de Purificación.

Sistema de abastecimiento	Numero
Aducción	24
Desarenador	4
PTAP	3
Red de distribución	21
Tanque	18

Fuente: Elaboración propia a partir de la información compilada en CORTOLIMA, Proagua 2018.

De los 28 expedientes revisados, el 64% que corresponde a 18 expedientes cuentan con un estado óptimo de captación, 8 expedientes figuran en el informe de visita técnica con un estado de captación regular y dos del total de los expedientes se encuentran en mal estado, por deterioro y falta de uso de la concesión de agua.

11.2.7 Municipio de Ortega

Se realizó la revisión de los expedientes de concesiones de agua del municipio de Ortega en la Corporación territorial ubicada en el municipio de Chaparral Tolima, donde se encontró un total de 64 expedientes.

De los 64 expedientes, un 17% correspondiente a 11 expedientes no se encuentran relacionados en el archivo de la corporación, ni se ubicaron en físico, razón por la cual no se revisaron y es probable que se encuentren en la sede central de CORTOLIMA ubicada en el municipio de Ibagué. Del listado maestro, 21 expedientes se encuentran archivados, se solicitaron en archivo los que se encuentran dentro del área de influencia del acuífero. El expediente 2511 otorgado para uso industrial en la vereda de Chicuambe se encuentra

archivado mediante el Auto No. 525 del 03/12/2014, el expediente 554, otorgado para uso agrícola, correspondiente a la vereda Guaipa, se encuentra archivado mediante el Auto 554 de 22/10/2014. El resto de expedientes archivados se encuentran fuera del área de influencia del acuífero.

De los 53 expedientes que se encuentran relacionados en los archivos de la corporación territorial, se revisó y diligenció en las planillas del RURH Y FUNIAS un 11% correspondiente a 8 concesiones que son las que se encuentran dentro del área de influencia del acuífero. De los expedientes revisados, 6 concesiones están otorgadas a persona jurídica del sector privado, y 2 expedientes corresponden a persona natural, siendo este último dato un 25% del total de la revisión realizada en la territorial.

De los expedientes revisados, el 37% se encuentran sin datos de documentos, el 50% no cuenta con datos de teléfono, el 75% no cuenta con datos de cedula catastral, y el 88% no presenta datos de georreferenciación del predio beneficiado, sin embargo, presentan los datos de georreferenciación del punto de captación, ver Tabla 86.

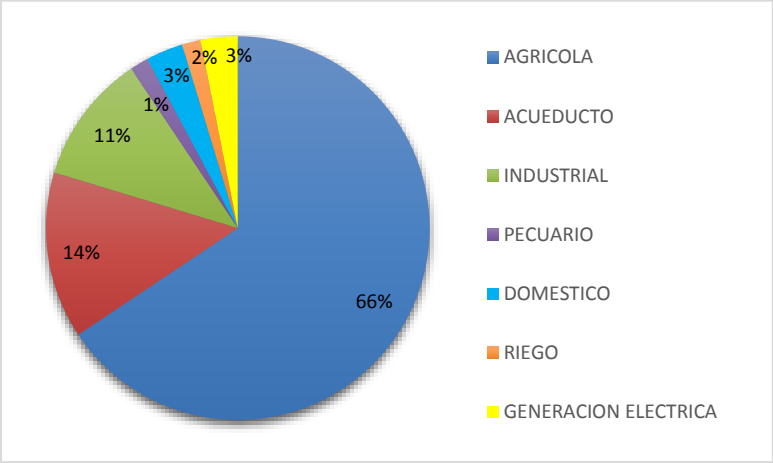
Tabla 86.Información faltante de los Expedientes revisados del Municipio Ortega.

Expedientes	Número de Expedientes
Expediente sin documento	3
Sin teléfono	4
Sin cedula catastral	6
Sin matrícula inmobiliaria	2
Sin georreferenciación del predio beneficiado	7
Total expedientes	8

Fuente: Elaboración propia a partir de la información compilada en CORTOLIMA, Proagua 2018.

42 de los 64 expedientes del listado maestro inicial, corresponden a concesiones de agua otorgadas para uso agrícola representado en un 66%, el 14% es otorgado para acueducto corresponde a 9 expedientes y el 11% es otorgado para uso industrial corresponde a 7 expedientes, Figura 80.

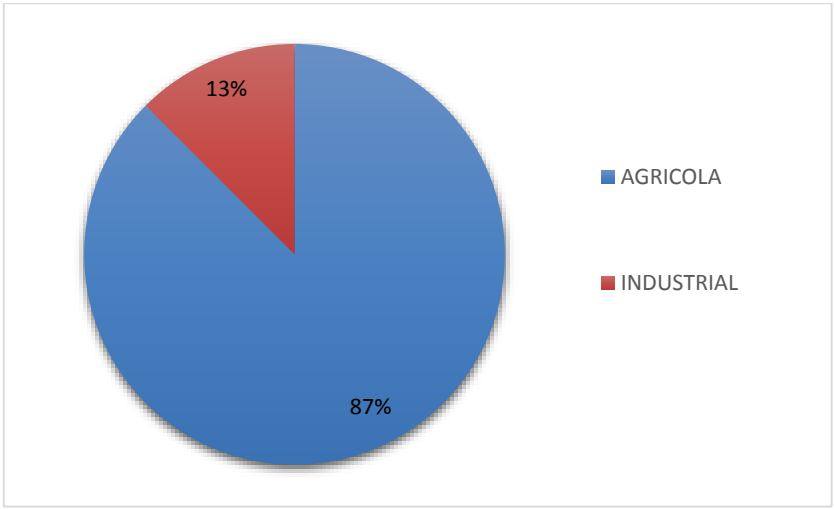
Figura 80. Usos de la Concesiones según listado Maestro del Municipio Ortega.



Fuente: Elaboración propia a partir de la información compilada en CORTOLIMA. Proagua, 2018.

De los 8 expedientes revisados, 7 son concesiones otorgadas para uso agrícola representando un 87% del total y 1 expediente corresponde a la concesión de agua para uso industrial, lo cual es acorde con el listado maestro, donde figura que la mayoría de las concesiones son otorgadas para uso agrícola, Figura 81.

Figura 81. Usos según visita de Seguimiento del Municipio Ortega.



Fuente: Elaboración propia a partir de la información compilada en CORTOLIMA. Proagua, 2018.

El total de los 8 expedientes revisados se encuentran con las concesiones vencidas, se requiere hacer visita técnica de seguimiento y evaluación para renovación de la concesión. Amadas, el 100% de las concesiones revisadas correspondientes al área de influencia del acuífero cuentan con sistema de abastecimiento compuesto por aducción, red de distribución y tanque de

almacenamiento. No se cuenta con plantas de tratamiento de potabilización de agua ni desarenadores, ver Tabla 87.

Tabla 87. Componentes del Sistema de Abastecimiento.

Sistema De Abastecimiento	Número de Expedientes
Aducción	8
Red De Distribución	8
Tanque	8

Fuente: Elaboración propia a partir de la información compilada en CORTOLIMA. Proagua, 2018.

El 75% del total de los expedientes (6 expedientes) cuentan con un estado óptimo de la captación, 12% (1 expediente) se encuentran en estado regular y el porcentaje restante correspondiente a 1 expedientes se encuentran en mal estado y no se está haciendo uso de la concesión.

11.2.8 Municipio de Suarez

Se revisó la información del municipio de Suarez ubicada en la territorial oriente, en el municipio de Melgar Tolima, labor que fue realizada el 16 y 17 de abril del presente año. Se encontró un total de 59 expedientes según el listado maestro, de los cuales se diligencio la información de 10 expedientes de concesiones de agua, los cuales se encuentran dentro del área de influencia del acuífero y corresponden al 17%. De estos 10 expedientes, 8 son otorgados a persona natural, 1 pertenece a persona jurídica privada y 1 a persona jurídica pública.

El total de los expedientes revisados referente a los informes de visita técnica no se observa datos de georreferenciación del predio que se beneficia de la concesión de agua, solo se registran los datos de georreferenciación del punto de captación de agua. El 60% no cuentan con cedula catastral, el 50% no presenta datos de teléfono y 1 expediente no cuenta con número de documento del usuario, Tabla 88.

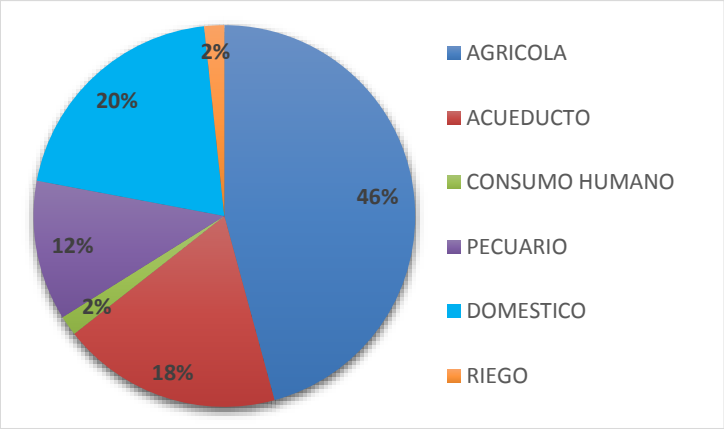
Tabla 88. Información faltante de los Expedientes revisados del Municipio de Suarez.

Expedientes	Número de Expedientes
Expediente sin documento	1
Sin teléfono	5
Sin cedula catastral	6
Sin matrícula inmobiliaria	4
Sin georreferenciación del predio beneficiado	10
Total expedientes	10

Fuente: Elaboración propia a partir de la información compilada en CORTOLIMA. Proagua, 2018.

Según el listado maestro inicial, el 46% correspondiente a 28 expedientes son concesiones otorgadas para uso agrícola, seguido de un 20% para uso doméstico reflejado en 12 expedientes, 18% equivalente a 11 expedientes son concesiones de agua otorgadas para acueducto. Siendo estos los datos más representativos de los usos de las conexiones de agua, Figura 82.

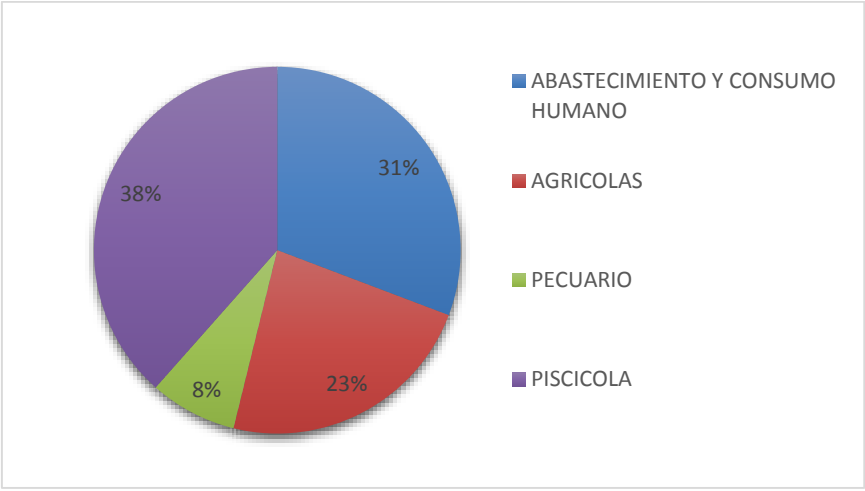
Figura 82. Usos de la Concesiones según listado Maestro del Municipio de Suarez.



Fuente: Elaboración propia a partir de la información compilada en CORTOLIMA. Proagua, 2018.

De los 10 expedientes, 4 concesiones son otorgadas para uso piscícola, 3 para uso doméstico, 2 son otorgadas para uso agrícola y 1 para uso pecuario. Se evidencia un mayor porcentaje para uso piscícola con un 38% del total de las concesiones otorgadas, lo cual difiere un poco de los usos registrados en el listado maestro, donde predomina las concesiones para uso agrícola, Figura 83.

Figura 83. Usos según visita de seguimiento del Municipio de Suarez.



Fuente: Elaboración propia. Proagua, 2018

Del total de los expedientes revisados del municipio de Suarez, 3 no cuentan con un sistema de abastecimiento definido ya que son concesiones otorgadas en cantidad de 100% del agua lluvia que se pueda recolectar, la cual no cuenta con continuidad en el servicio. Los 7 expedientes restantes cuentan con red de distribución, de los cuales solo 1 cuenta con sistema de desarenador, 6 de las 7 concesiones con tanque de almacenamiento, en 1 de los expedientes no se cuentan con tanque ya que se hace riego directamente de la red de distribución, Tabla 89.

Tabla 89. Componentes del Sistema de Abastecimiento del Municipio de Suarez.

Sistema de abastecimiento	Número de expedientes
Aducción	6
Desarenador	1
Red de distribución	7
Tanque	6

Fuente: Elaboración propia. Proagua, 2018.

De los 10 expedientes, 6 se encuentran con la concesión vencida, por lo cual requieren visita técnica de revisión y seguimiento para empezar tramite de renovación de la concesiones. El 70% de las concesiones cuentan con un estado de captación óptimo, correspondiente a 7 de las 10 concesiones, 3 concesiones pertenecientes al área de influencia del acuífero se encuentran con las concesiones vencidas.

11.2.9 Municipio de San Luis

Se realizó la revisión de los expedientes de las concesiones de agua superficial y subterránea del municipio de San Luis, ubicados en la oficina principal de CORTOLIMA, en la ciudad de Ibagué, entre el 26 de febrero y 2 de marzo de presente año. Según el listado maestro suministrado por la corporación, el municipio cuenta con un total de 78 concesiones, de las cuales 7 son subterráneas y 71 corresponden a fuentes superficiales.

A partir de estos expedientes de inicio se observó que, el 21%, correspondiente a 15 expedientes del listado maestro, se encuentra sin número de expediente, por lo cual no se hizo revisión de dichas concesiones. Por ende, se trabajó sobre un total de 63 expedientes equivalente al 81% del total de expedientes iniciales, el cual se tomó como el número total de expedientes en adelante.

De 63 expedientes del listado maestro a verificar, se revisó el 27%, el cual corresponde a 17 expedientes. Los expedientes faltantes se localizan en distintas áreas administrativas de CORTOLIMA, como el área de calidad ambiental, pues se encuentran en revisión técnica y agendamiento de visitas de revisión y en evaluación del estado de las concesiones.

A partir de los expedientes revisados, se encuentra que el 53%, es decir 9 expedientes, corresponden a personas Jurídicas, mientras que, el 47%, equivalente a 8 expedientes corresponden a personas naturales. Dichas concesiones mencionadas anteriormente se encuentran vigentes.

Del total de las concesiones revisadas, 1 expediente no presenta documento del usuario, 5 se encuentran sin datos de cedula catastral y 7 sin matrícula inmobiliaria. Además, 5 expedientes no tienen número de teléfono y 2 no tienen georreferenciación del predio beneficiado de la captación de recurso hídrico, esto debido a que hacen referencia a acueductos que benefician varios predios, por lo cual únicamente se encuentra la georreferenciación de la captación, ver Tabla 90.

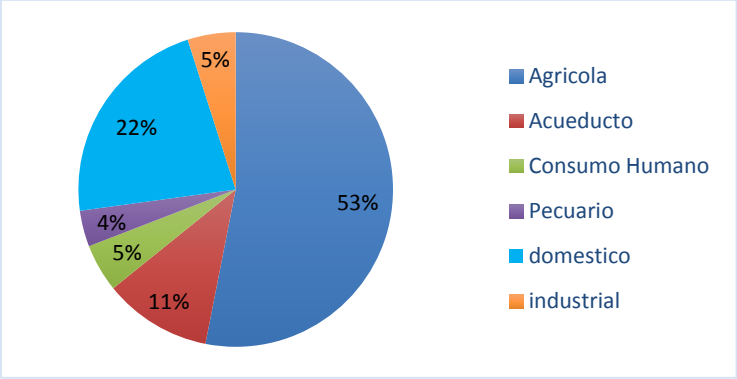
Según lo estipulado en el listado maestro de concesiones inicial otorgado por la corporación, predominan las concesiones para uso agrícola con un 53%, seguido de concesiones solicitadas para uso doméstico con un 22%, un 11% de las concesiones del municipio son otorgadas para acueducto, ver Figura 84. Esto resalta que la principal actividad económica del municipio es la agricultura, con siembras mayormente de arroz, mango, maíz, sorgo, frutales, entre otros.

Tabla 90. Información faltante de los Expedientes revisados del Municipio de San Luis.

Ítems	Número de expedientes
Expediente sin documento del usuario	1
Sin teléfono	5
Sin cedula catastral	5
Sin matrícula inmobiliaria	7
Sin georreferenciación del predio beneficiado de la captación del recurso hídrico.	2
Total de expedientes Revisados	**17**

Fuente: Elaboración propia a partir de la información compilada en CORTOLIMA. Proagua, 2018.

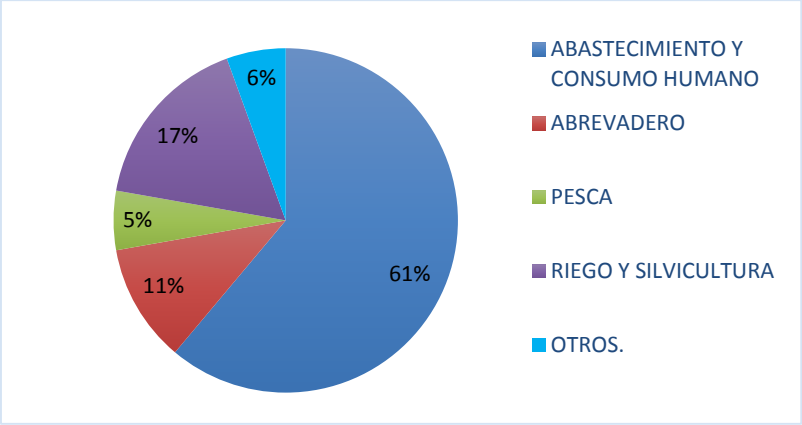
Figura 84. Usos de las concesiones según listado maestro del Municipio de San Luis.



Fuente: Elaboración propia a partir de la información compilada en CORTOLIMA. Proagua, 2018.

Por otra parte, según los informes de visita técnica realizada por funcionarios de CORTOLIMA, los principales usos de las concesiones de agua otorgadas son para el abastecimiento y consumo humano con un 61%, seguido del sistema de riego y silvicultura con un 17% del total verificado. Es importante resaltar que algunas de las concesiones cuentan con dos o más usos, ver Figura 85.

Figura 85. Usos según visita técnica de seguimiento del Municipio de San Luis.



Fuente: Elaboración propia a partir de la información compilada en CORTOLIMA. Proagua, 2018.

Otra observación que se puede hacer de los 17 expedientes revisados, se refiere a que, del total de las concesiones del municipio de San Luis, el 71% de ellas se encuentran en estado de vigencia, correspondiente a 12 expedientes, mientras que los 5 restantes, el 29% de los expedientes, presentan vencida la concesión de agua otorgada. Está estipulado en los expedientes el requerimiento de una nueva visita técnica, el pago de tarifa de cobro para la visita, y la necesidad de la renovación de la concesión.

En las especificaciones del componente del sistema de abastecimiento se determinó que 14 expedientes cuentan con sistema de aducción, red de distribución y tanque de almacenamiento del recurso hídrico. Únicamente 4 de las concesiones cuenta con desarenador y 1 cuenta con planta de potabilización de agua (PTAR), otorgada por el cetro nacional de entretenimiento y operaciones policiales policía nacional CENOP, ver Tabla 91.

Tabla 91. Componentes del sistema de Abastecimiento del Municipio de San Luis.

Sistema de abastecimiento	Número de expedientes
Aducción	14
Desarenador	4
Red de distribución	14
Tanque	14
PTAP	1

Fuente: Elaboración propia a partir de la información compilada en CORTOLIMA. Proagua, 2018.

Según la revisión de expedientes realizadas y de acuerdo con los informes de las visitas técnicas de los funcionarios de CORTOLIMA, se puede concluir que el estado de la captación es bueno en un 53%, correspondiente a 9 expedientes del total de las concesiones, debido a que presentan una buena cobertura vegetal. Además, 6 captaciones se encuentran en estado regular con un 35% del total de expedientes verificados y el 12% se encuentran en mal estado, por abandono del predio o por que se dejó de hacer uso del recurso hídrico.

11.3 Cargue de base de datos de usuarios del agua.

El procedimiento previo que se lleva a cabo para la aprobación y digitación de las encuestas, es la revisión y la verificación de las mismas. Se realizan controles de calidad tomando como herramienta el contacto telefónico a los usuarios censados por los técnicos de campo de forma aleatoria. Seguidamente se corrobora en el programa Google Earth los puntos geográficos entregados en el formato KML para comprobar si las coordenadas expuestas en el formato de la encuesta coinciden con los puntos tomados geográficamente y que a su vez contengan las fotos soportadas como evidencia. Luego se procede a cargar la información compilada en campo en la base de datos suministrada por la Corporación de los usuarios del agua superficial y subterránea

En la Tabla 92 se puede evidenciar que la principal fuente de abastecimiento de la zona de influencia del acuífero son los aljibes reflejado en un 74,76%, seguido en un 24,7% de acueducto como fuente de suministro. Cabe aclarar que la gráfica no determina porcentualmente el abastecimiento de los pozos, manantiales, quebradas y agua lluvia al no tener un número relevante.

Tabla 92. Encuestas subterráneas fuente principal de abastecimiento.

Tipo de fuente	Cantidad	%
Acueducto	645	24,7
Aljibe	1952	74,76
Quebrada	4	0,15
Manantial	6	0,23
Pozo	4	0,16
Total	**2611**	**100**

Fuente: Elaboración propia. Proagua, 2018.

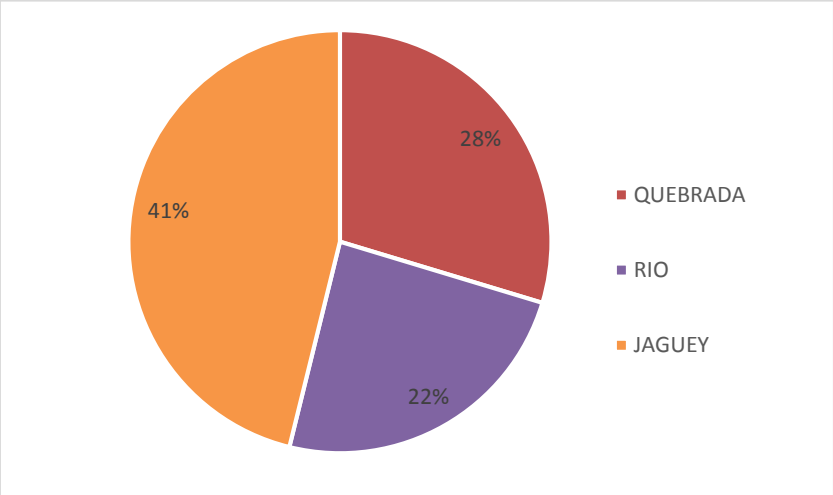
Como se puede observar en la Tabla 93 y Figura 86, los tipos de fuente superficiales encontrados en las 91 visitas realizadas se expresan en un 41% para jagüeyes, un 28% en quebradas, y un 22% en ríos.

Tabla 93. Tipo de fuente superficial.

Tipo De Fuente	Cantidad
Quebrada	27
Río	22
Jagüey	42
Total	**91**

Fuente: Elaboración propia. Proagua, 2018.

Figura 86. Tipo de fuente superficial.



Fuente: Elaboración propia. Proagua, 2018.

Se refleja en la Tabla 94 y la Figura 87 que el principal uso del agua subterránea es doméstico, representado porcentualmente en un 88%, seguido por el uso pecuario con un 9% y el agrícola con un 3%.

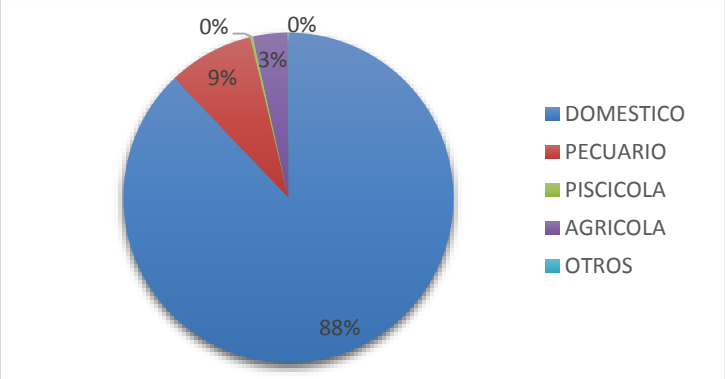
Se evidencia, en la Tabla 95 y Figura 88 que el principal uso del agua superficial es agrícola con un 43%, seguido del uso pecuario con un 34%. Se resalta que en un 19% de las visitas realizadas la comunidad a la que abarca el acuífero utiliza el recurso para uso doméstico.

Tabla 94. Usos del agua subterránea.

Tipo De Uso	Cantidad
Domestico	2454
Pecuario	234
Piscícola	8
Agrícola	94
Otros	2
Total	**2792**

Fuente: Elaboración propia. Proagua, 2018.

Figura 87. Uso del agua subterránea.



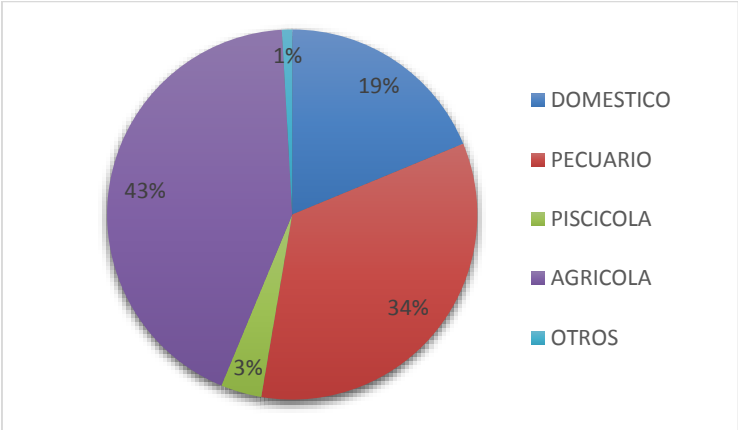
Fuente: Elaboración propia. Proagua, 2018.

Tabla 95. Usos del agua superficial.

Tipo De Uso	Cantidad
Domestico	21
Pecuario	39
Piscícola	4
Agrícola	47
Otros	1
Total	**112**

Fuente: Elaboración propia. Proagua, 2018.

Figura 88. Usos del agua superficial.



Fuente: Elaboración propia. Proagua, 2018.

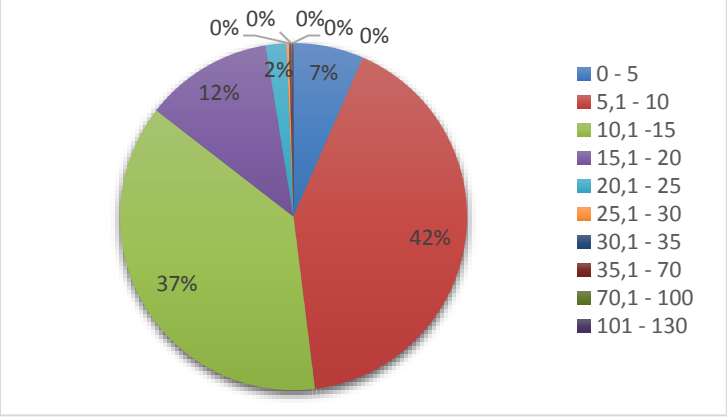
La profundidad de los aljibes o pozos se representó con diferentes rangos, Tabla 96 y Figura 89. Las profundidades entre 5 y 10 m presentan un porcentaje del 42%, seguida por las de 10 y 15 m con un porcentaje del 37% y las de 15 y 20 m con un porcentaje del 12%.

Tabla 96. Profundidad

Profundidad (m)	CANTIDAD
0 - 5	171
5 - 10	1083
10 - 15	978
15 - 20	312
20 - 25	50
25 - 30	6
30 - 35	1
35 - 70	4
70 - 100	1
100 - 130	5
TOTAL	**2611**

Fuente: Elaboración propia. Proagua, 2018.

Figura 89. Profundidad de aljibes.



Fuente: Elaboración propia. Proagua, 2018.

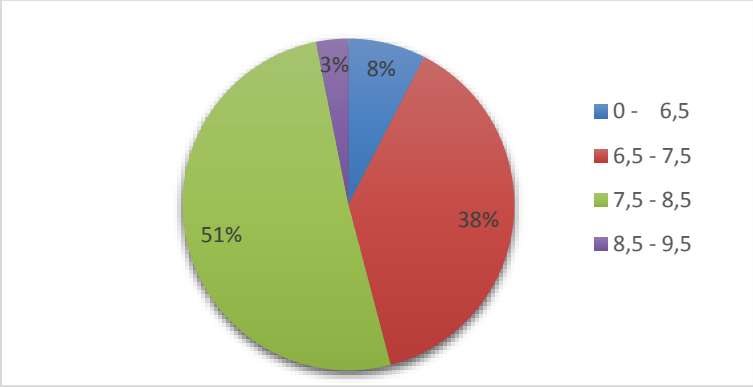
El pH presentado por el rango entre 0 y 6,5 tiene un porcentaje del 8%, de 6,5 a 7,5 un porcentaje del 38% y de 7,5 a 8,5 un porcentaje del 51%, ver Tabla 97 y Figura 90. De las 2611 encuestas realizadas, en 1 encuesta no se tomaron parámetros fisicoquímicos ya que el agua se encontró contaminada con presencia de un animal en descomposición.

Tabla 97. Potencial de Hidrogeno

Rango pH	CANTIDAD
0 - 6,5	178
6,5 - 7,5	764
7,5 - 8,5	1130
8,5 - 9,5	71
TOTAL	**2143**

Fuente: Elaboración propia. Proagua, 2018.

Figura 90. Potencial de hidrogeno (pH).



Fuente: Elaboración propia. Proagua, 2018.

En la Tabla 98 se presenta los valores de conductividad eléctrica divida en clases junto con el número de encuestas respectivas. La conductividad entre 300 y 400 us/cm presenta el mayor porcentaje abarcando 696 encuestas con un valor porcentual del 27%, seguida de las conductividades entre 400 y 500 us/cm con un porcentaje del 15%. Además de esto, se evidencia que hay conductividades eléctricas superiores a los 1000 us/cm aunque en menor porcentaje.

Tabla 98. Conductividad.

Rango Conductividad (us/cm.)	Cantidad
0 - 100	18
100 - 200	149
200 - 300	259
300 - 400	696
400 - 500	396
500 - 600	262
600 - 700	206
700 - 800	201
800 - 1000	207
1000 - 2000	122
2000 - 3000	28
3000 - 4000	33
4000 - 7000	33
Total	**2610**

Fuente: Elaboración propia. Proagua, 2018.

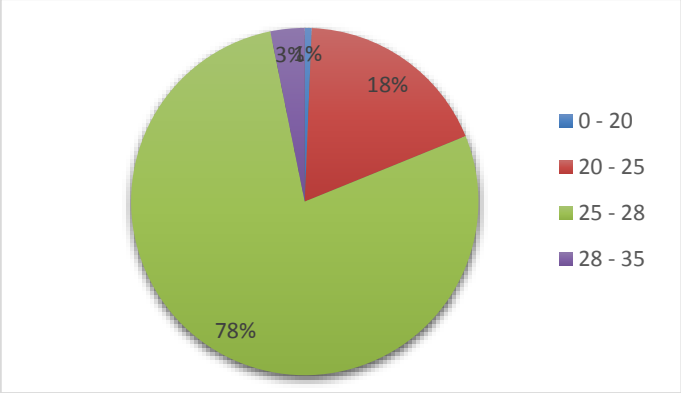
Se puede evidenciar en la Tabla 99 y la Figura 91, de las 2611 encuestas realizadas, el 78% se encuentran con temperaturas entre 25 ºC y 28 ºC equivalentes a 2035 encuestas, seguida del 18% con temperaturas entre 20 ºC y 25 ºC representadas en 475 encuestas.

Tabla 99. Temperatura (°C).

Rango de temperatura °C	**Cantidad**
0 - 20	17
20 - 25	475
25 - 28	2035
28 - 35	83
Total	**2610**

Fuente: Elaboración propia. Proagua, 2018.

Figura 91.Temperatura



Fuente: Elaboración propia. Proagua, 2018.

El 60% de los niveles estáticos de agua de los aljibes, es decir 1567 encuestas están en un rango entre 0 y 5 metros, seguidos del rango de entre 5 y 10 metros representados en un 35,1%, ver Tabla 101 y Figura 92.

Se identifica que el material más usado en el revestimiento de los aljibes y pozos es el cemento (anillos en concreto) representado con un valor porcentual del 73%, reflejado en 1915 encuestas realizadas, seguido del ladrillo con un 11,7%, es decir 305 encuestas, ver Figura 93 y Tabla 100.

Tabla 100. Material de revestimiento de aljibes o pozos.

Material	**Cantidad**
Acero	2
Cemento	1915
Hierro Galvanizado	3
Ladrillo	305
Tablas de madera	7
Sin revestimiento	350
Piedra (Peñón)	27
Pvc	2
Total	**2611**

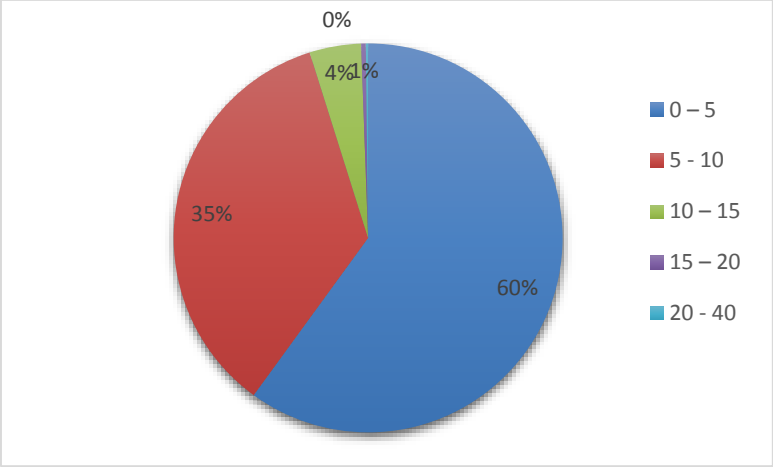
Fuente: Elaboración propia. Proagua, 2018.

Tabla 101. Nivel estático del agua en los aljibes o pozos.

Rango de nivel estático (m)	Cantidad
0 – 5	1567
5 - 10	917
10 – 15	112
15 – 20	10
20 - 40	5
Total	**2611**

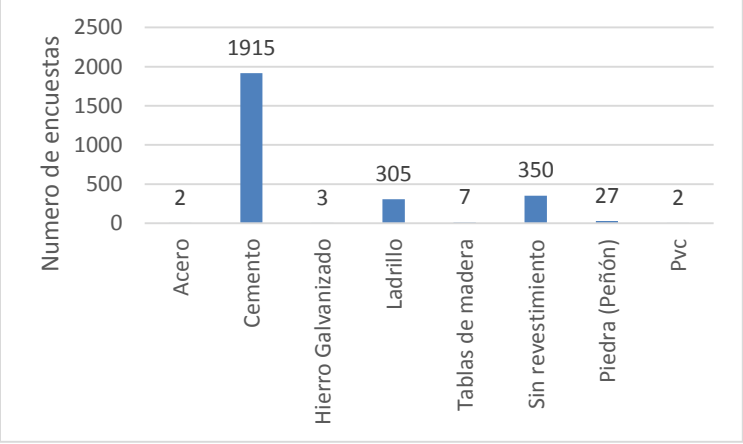
Fuente: Elaboración propia. Proagua, 2018.

Figura 92. Lámina de agua.



Fuente: Elaboración propia. Proagua, 2018.

Figura 93. Material de revestimiento de aljibes o pozos.



Fuente: Elaboración propia. Proagua, 2018.

11.3.1 Consolidado general encuestas superficiales y subterráneas por veredas.

En las siguientes tablas se encuentra el consolidado general de 2702 encuestas realizadas en las veredas que están dentro de la zona en estudio.

Tabla 102. Encuestas municipio de Natagaima

Vereda	Total
Natagaima	2
Velú Virginia	23
Los Angeles	8
San Miguel	29
Cocana	3
Anacarco	2
Guasimal Guadaleja	45
Yaco	6
Brisas De Yaco	3
La Molana	15
Rincón Anchique	18
Baloca	21
Pueblo Nuevo	39
Quebraditas	3
Mercadillo Progreso	4
Camino Real Anchique	3
Velú Centro	63
Tinajas	15
Tamirco	39
Mesa Inca	2
Santa Bárbara	7
Las Brisas	30
Balsillas	37
Velú Rincón	31
Palma Alta	15
Mercadillo	29
Yavi	38
El Floral	71
El Patá	2
La Palmita	23
Pocharco	27
Total 650	

Fuente: Elaboración propia. Proagua, 2018.

Tabla 103. Encuestas municipio de Prado

Vereda	Total
Catalán	41
La chica	2
La Virginia	2
Las brisas	2
Peñón Alto	23
Tortugas	17
Conchal	22
Total 109	

Fuente: Elaboración propia. Proagua, 2018.

Tabla 104. Encuestas municipio de Ortega

Vereda	Total
Balsillas	13
Guaipa	1
San Diego	7
Santa Lucia	8
Total 29	

Fuente: Elaboración propia. Proagua, 2018.

Tabla 105. Encuestas municipio de Purificación

Vereda	Total
Hilarco	25
Chenche Asoleado	137
Total 162	

Fuente: Elaboración propia. Proagua, 2018

11.3.2 Encuestas subterráneas persona natural.

En las siguientes tablas se encuentra el número de personas naturales por Municipio y Vereda del área abarcada durante el proyecto acuífero sur.

Tabla 106. Encuestas persona natural Natagaima

Vereda	Total
Anacarno	2
Baloca	19
Balsillas	25
Brisas De Yaco	3
Camino Real Anchique	3
Cocana	3
El Floral	70
Gusimal Guadaleja	41
La Molana	10
La Palmita	21
Velú La Virginia	21
Las Brisas	13
Los Angeles	8
Mercadillo	9
Mercadillo Progreso	3
Mesa Inca	2
Natagaima	1
Palma Alta	15
Pocharco	24
Pueblo Nuevo	27
Quebraditas	1
Rincón Anchique	18
San Miguel	29
Santa Barbara	4
Tamirco	39
Tinajas	15
Velú Centro	62
Velú Rincón	24
Yaco	4
Yavi	38
Total 555	

Fuente: Elaboración propia. Proagua, 2018.

Tabla 107. Encuestas persona natural Coyaima

Vereda	Total
Acevedo y Gómez	49
Amayarco	105
Anonales	22
Bellavista	9
Bocas De Hilarco	9
Buenavista	4
Cascabel	65
Chenche Agua Fría	65
Chenche Buenos Aires	28
Chenche Media Luna	38
Chenche Zaragoza	69
Chili	76
Coyarco	140
Doyare Esmeralda	54
Doyare Porvenir	7
El Rosario	73
El Tambo Guayarco	18
Hilarco Guayaquil	49
La Arenosa	12
La Nueva Esperanza	53
Lomas De Guaguarco	57
Lomas De Hilarco	33
Lomas Mesas De San Juan	96
Lusitania	22
San Miguel	179
Socorro Las Guayabas	18
Tocarco Dinde	32
Yaberco	66
Zaragoza Tamarindo	47
Cheche Balsillas	38
Doyare centro	17
Doyare recristo	6
Poyare centro	13
Santa marta diamante	34
Santa marta inspección	38
Tres esquinas	77
Total 1718	

Fuente: Elaboración propia. Proagua, 2018.

Tabla 108. Encuestas persona natural Ortega

Vereda	Total
Balsillas	13
Guaipa	1
San Diego	7
Santa Lucia	8
Total 29	

Fuente: Elaboración propia. Proagua, 2018.

Tabla 109. Encuestas persona natural Prado

Vereda	Total
Catalán	41
La Chica	2
La Virginia	2
Las Brisas	2
Peñon Alto	23
Tortugas	17
Conchal	22
Total 109	

Fuente: Elaboración propia. Proagua, 2018.

Tabla 110. Encuestas persona natural Purificación

Vereda	Total
Hilarco	25
Chenche Asoleado	135
Total 160	

Fuente: Elaboración propia. Proagua, 2018.

11.3.3 Encuestas subterráneas persona jurídica

En las siguientes tablas se encuentra el consolidado de las personas jurídicas por Municipio y Vereda donde fue realizada la aplicación de la encuesta en la zona de influencia del acuífero sur.

Tabla 111. Encuestas persona jurídica Natagaima

Vereda	Total
El Patá	2
Mercadillo	1
Velú Rincón	6
Yaco	1
Total 10	

Fuente: Elaboración propia. Proagua, 2018.

Tabla 112. Encuestas persona jurídica Coyaima

Vereda	Total
Acevedo Y Gomez	2
Amayarco	1
Anonales	1
Cascabel	2
Chenche Balsillas	1
Chenche Buenos Aires	2
Chenche Media Luna	2
El Rosario	1
Doyare centro	1
Hilarco Guayaquil	4
Lomas De Guaguarco	1
Lomas Mesas De San Juan	2
San Miguel	1
Santa marta diamante	3
Socorro Las Guayabas	1
Totarco Dinde	2
Tres esquinas	1
Total 28	

Fuente: Elaboración propia. Proagua, 2018.

Tabla 113. Encuestas persona jurídica Purificación

Vereda	Total
Chenche Asoleado	2
Total 2	

Fuente: Elaboración propia. Proagua, 2018

11.3.4 Encuestas superficiales persona natural

En la siguiente tabla se encuentra el consolidado de las personas naturales representadas en 79 encuestas realizadas por Municipio y Veredas que abarco el proyecto acuífero sur.

Tabla 114. Encuestas persona natural Natagaima

Vereda	Total
Baloca	2
Amayarco	1
Balsillas	11
El Floral	1
Cheche balsillas	1
Guasimal	3
La Molana	5
La Palmita	2
Las Brisas	13
Mercadillo	19
Mercadillo Progreso	1
Pocharco	3
Pueblo Nuevo	10
Quebraditas	1
Santa Barbara	3
Velú Virginia	2
Totarco niple	1
Total 79	

Fuente: Elaboración propia. Proagua, 2018.

11.3.5 Encuestas Superficial Persona Jurídica Privada

En las siguientes tablas se encuentra el consolidado de las 9 encuestas realizadas pertenecientes a personas jurídica privada por municipio y vereda del área de influencia del proyecto acuífero sur.

Tabla 115. Encuestas persona jurídica Natagaima

Vereda	Total
Balsillas	1
Las Brisas	1
Pueblo Nuevo	2
Quebraditas	1
Velú Centro	1
Velú Rincón	1
Yaco	1
Total 8	

Fuente: Elaboración propia. Proagua, 2018.

Tabla 116. Encuestas persona jurídica Coyaima

Vereda	Total
Totarco Piedras	1
Total 1	

Fuente: Elaboración propia. Proagua, 2018.

11.3.6 Encuestas superficiales persona jurídica pública

En las siguientes tablas se encuentra el consolidado de las 3 encuestas pertenecientes a persona jurídica pública realizadas en los municipios y veredas pertenecientes al área de influencia del proyecto acuífero sur.

Tabla 117. Encuestas persona jurídica Natagaima

Vereda	Total
Natagaima	1
Total 1	

Fuente: Elaboración propia. Proagua, 2018.

Tabla 118. Encuestas persona jurídica Coyaima

Vereda	Total
Lomas Mesas De San Juan	1
Chili	1
Total 2	

Fuente: Elaboración propia. Proagua, 2018.

11.4 METODOLOGÍA DEMANDA HÍDRICA

El agua, además de su valioso papel como elemento de consumo y bienestar de los seres vivos, actúa como materia prima o medio de producción de los distintos sectores socioeconómicos, por ello es importante contar con un indicador de estado que refleje no solo la magnitud de la oferta de agua disponible en las distintas unidades hidrológicas sino también la demanda de la misma (IDEAM, 2004).

El país no cuenta con un sistema de información continua y sectorial de uso del agua, ni ha contabilizado históricamente el agua usada de fuentes superficiales y subterráneas. La demanda de agua por uso se define como el volumen de agua usada para el desarrollo de actividades socioeconómicas, debe ser el resultado de las mediciones efectuadas por los usuarios y reportadas a las instituciones relacionadas y autoridades ambiental es regionales (IDEAM, 2004). Esta demanda se define como la sumatoria de las demandas sectoriales como se observa en la siguiente ecuación:

DT = DUA + DUP + DUD + DUO **Ecuación 9**

Donde:

DT = Demanda Total de agua

DUA = Demanda de Agua para Uso Agrícola

DUP = Demanda de Agua para Uso Pecuario

DUD = Demanda de Agua para Uso Doméstico

DUO = Demanda de Agua para otros usos (Industrial, Recreativo, otros)

La Demanda total y las demandas por uso de los diferentes sectores serán determinadas con la misma metodología tanto para el agua subterránea como para el agua superficial haciendo uso del "Censo de Usuarios del Recurso Hídrico en el Acuífero Sur del Tolima el cual es Jurisdicción de CORTOLIMA"

11.4.1 **Demanda de agua por Uso Agrícola (DUA)**

La cantidad de agua requerida para compensar la pérdida por evapotranspiración del cultivo se define como necesidades de agua del cultivo. A pesar de que los valores de la evapotranspiración del cultivo y de las necesidades de agua del cultivo son idénticos, sus definiciones conceptuales son diferentes. Las necesidades de agua del cultivo se refieren a la cantidad de agua que necesita ser proporcionada al cultivo como riego o precipitación, mientras que la evapotranspiración del cultivo se refiere a la cantidad de agua perdida a través de la evapotranspiración. La necesidad de riego básicamente representa la diferencia entre la necesidad de agua del cultivo y la precipitación efectiva. El requerimiento de agua de riego también incluye agua adicional para el lavado de sales, y para compensar la falta de uniformidad en la aplicación de agua (Allen, 2006).

El cálculo de demanda agrícola se estimó a partir de los módulos agrícolas, para los cuales se tuvo en cuenta el ciclo normal de producción de cultivo durante un año, diferenciando los cultivos transitorios y permanentes (CORTOLIMA & PROAGUA, 2014).

DUA= MA* A **Ecuación 10**

DUA= Demanda por uso agrícola

MA= Modulo agrícola (l/s-ha)

A= Área (ha)

11.4.2 Demanda de agua por uso Pecuario (DUP)

La demanda por uso pecuario es la cantidad de agua que necesita un animal para su subsistencia al día. Se obtiene al multiplicar el número de cabezas de los animales de importancia comercial, por un factor de consumo promedio aproximado (módulo de consumo), el cual está determinado teniendo en cuenta el tipo de animal, el tipo de producción y el consumo de materias seca y alimento requerido, además del piso térmico que describe las características climáticas de la zona. Como tipo de animales de importancia comercial se clasifican: bovinos, equinos, ovinos, porcinos y avícolas (CAR, 2016).

En la Tabla 119 se muestran los módulos de consumo para uso pecuario, los cuales hacen parte de los resultados de la investigación realizada en 1993 por el Consorcio Hidroplan Ltda., para la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca -CAR-, titulada "Estudio para la determinación de los Módulos de consumo para Beneficio Hídrico", y por el estudio "Actualización de los Módulos de Consumo Agrícola en las Cuencas de Tercer Orden de la Jurisdicción CAR" en el 2007. Se optó por lo módulos de consumo para uso pecuarios del piso térmico cálido, el cual corresponde al piso térmico de la zona de estudio.

Tabla 119. Módulos de consumo para uso pecuario.

Especie	Piso Térmico		
	Frio	Medio	Cálido
Bovinos	25	30	35
Equinos	20	25	20
Ovinos	15	20	25
Porcícolas	10	13	15
Avícolas	15	20	25

Fuente: CAR, (2007).

11.4.3 Demanda de agua por Uso Doméstico (DUD)

Según lo estipulado en el decreto 3930 de 2010, se define uso de agua para fines domésticos, cuando es utilizada para: bebida directa y preparación de alimentos para consumo inmediato, satisfacción de necesidades domésticas, individuales o colectivas, tales como higiene personal y limpieza de elementos, materiales o utensilios, y en la preparación de alimentos en general, en especial los destinados a comercialización y distribución.

Para determinar la demanda por uso doméstico se empleó el número de habitantes por predio visitado, los cuales fueron definidos a partir del "Censo de Usuarios del Recurso Hídrico en el Acuífero Sur del Tolima el cual es Jurisdicción de CORTOLIMA". Se determinó la demanda de recurso hídrico por encuesta realizada, y se totalizo por municipio, empleando la siguiente ecuación:

DUD= MD*Hab **Ecuación 11**

DUD= Demanda de agua por uso domestico

MD= Modulo domestico

Hab= Habitantes

Según la Tabla 120 se determinó que el valor del módulo de dotación bruta es de 166 l/Hab-día, teniendo en cuenta que corresponden a sistemas con un bajo nivel de complejidad con menos de 2500 beneficiarios y que se encuentran ubicados en una zona donde prevalece una condición climática cálida y con una altura menos a 1000 msnm (MINAMBIENTE-PROAGUA, 2017).

Tabla 120. Valores de dotación bruta máxima en l/hab-día

Clima	Nivel de Complejidad			
	Bajo <2500 hab	Medio 2501-12500 hab.	Medio-alto 12501-60000 hab.	Alto >60000 hab.
	Dotación bruta Db = Dn/(1-40% pérdidas) l/hab-día			
Frío o templado-altura superior a 1000 msnm.	150	191	208	233
Cálido-altura inferior a 1000 msnm.	166	208	225	250

Fuente: MINAMBIENTE- PROAGUA, 2017

11.5 Demanda de agua subterránea

La demanda agua subterránea se refiere al uso del agua por parte de los diferentes sectores la cual es extraída de los aljibes y de algunos pozos ubicados en los predios visitados descritos por el censo.

11.5.1 Demanda de agua para Uso Agrícola (DUA)

Para desarrollar la demanda agropecuaria se hizo uso del "Censo de Usuarios del Recurso Hídrico en el Acuífero Sur del Tolima con el fin determinar las áreas y los diferentes cultivos que se encuentran en la zona de los predios ubicados dentro área de estudio. Dicha selección se determinó para cada uno de los municipios que pertenecen al acuífero. Los principales cultivos son Arroz, pastos, limón, plátano, papaya y melón entre otros. Algunos cultivos principales con grandes extensiones de área, como es el caso particular del arroz, no son abastecidos con agua subterránea, extraída en este caso de los aljibes ubicados en los predios visitados, ya que no proporcionan el volumen de agua suficiente para cubrir estas grandes demandas. Se asignó un valor de cero "0" en la demanda hídrica subterránea para los predios

con estas características. Los cultivos con grandes extensiones que deben ser regados hacen uso del distrito de riego triangulo del Tolima para la mayoría de los casos.

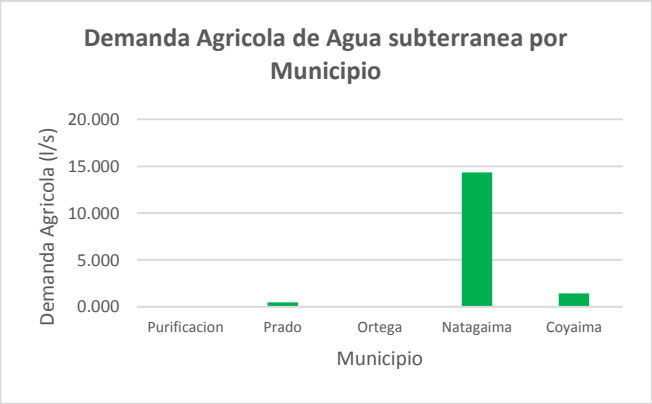
Es importante aclarar que el censo de usuarios del recurso hídrico a la fecha solo cubre parte del área del sector sur del acuífero en estudio. Al cruzar las coordenadas de los predios del Censo con el área del acuífero se observó que el municipio de Natagaima presenta la mayor demanda agrícola del orden de 14,338 l/s. El municipio de Ortega no presenta demanda agrícola, esto corresponde a las encuestas realizadas a la fecha. Los Municipios de Purificación, Prado y Coyaima, presentan demandas muy bajas con magnitudes de 0,014, 0,485 y 1,434 l/s respectivamente. La demanda total del sector agrícola de los municipios censados es de 16,271 l/s, ver Tabla 121 y Figura 94.

Tabla 121. Demanda Agrícola por Municipio

Municipio	Demanda (l/s)
Purificación	0,014
Prado	0,485
Ortega	0,000
Natagaima	14,338
Coyaima	1,434
Total	16,271

Fuente: Elaboración propia. Proagua, 2018.

Figura 94. Comportamiento de la Demanda Agrícola por Municipios.



Fuente: Elaboración propia. Proagua, 2018.

11.5.2 Demanda de agua por uso Pecuario (DUP)

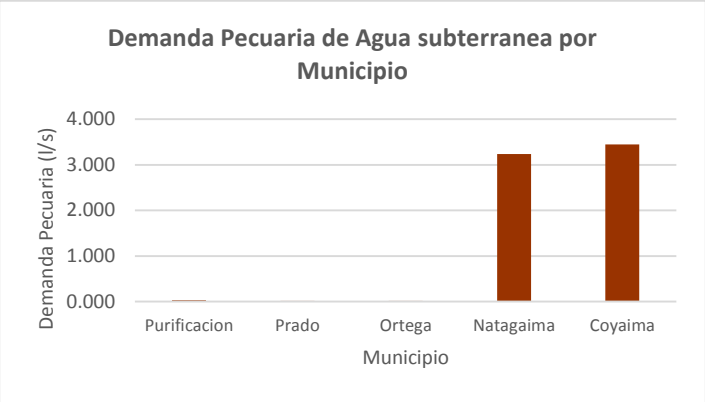
En la Tabla 122 y Figura 95, donde se presentan las demandas pecuarias por municipio, se puede observar que los municipios de Natagaima y Coyaima presentan las mayores demandas del orden de 3,23 y 3,44 l/s respectivamente. Por su parte Purificación, Prado y Ortega presentan demandas por uso pecuario muy bajas las cuales son de 0,029, 0,018 y 0,012 l/s respectivamente. La demanda pecuaria total en el acuífero es de 6,74 l/s.

Tabla 122. Demanda Pecuaria por Municipios

Municipio	Demanda (l/s)
Purificación	0,029
Prado	0,018
Ortega	0,012
Natagaima	3,235
Coyaima	3,445
Total	6,740

Fuente: Elaboración propia. Proagua, 2018.

Figura 95. Comportamiento de la Demanda Pecuaria por Municipios.



Fuente: Elaboración propia. Proagua, 2018.

11.5.3 Demanda de agua para Uso Doméstico (DUD)

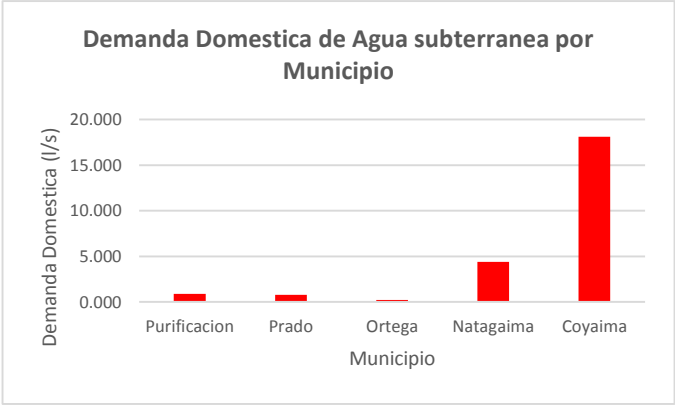
Como se puede observar en la Tabla 123 y Figura 96, el municipio de Coyaima presenta una mayor demanda del recurso hídrico con un valor de 18,10 l/s, por su parte los municipios de Purificación, Prado, Ortega y Natagaima presentan valores de demanda hídrica inferiores de 0,881; 0,776; 0,206 y 4,398 l/s respectivamente. La demanda total para usos agrícola es de 24,368 l/s.

Tabla 123. Demanda Doméstica por Municipios

Municipio	Demanda (l/s)
Purificación	0,881
Prado	0,776
Ortega	0,206
Natagaima	4,398
Coyaima	18,107
Total	24,368

Fuente: Elaboración propia. Proagua, 2018.

Figura 96. Comportamiento de la Demanda Doméstica por Municipios.



Fuente: Elaboración propia. Proagua, 2018.

11.5.4 Demanda Total (DT)

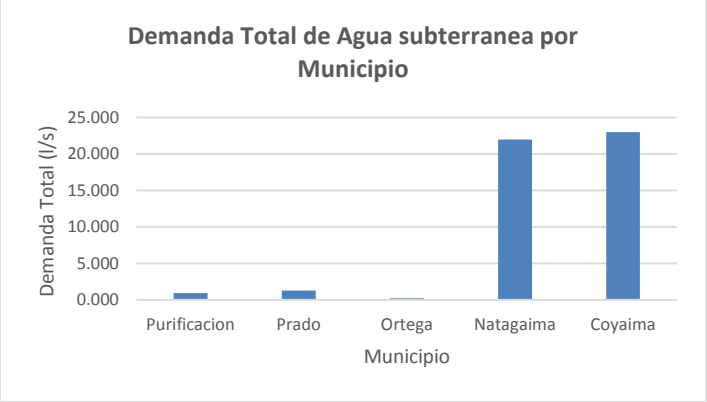
La demanda total definida como la suma de la demanda agrícola, pecuaria y doméstica, se presenta en la Tabla 124 y Figura 97. Se puede observar que Natagaima y Coyaima son los municipios que presentan mayor demanda por uso del recurso hídrico con un valor de 21,972 y 22,986 l/s. Es importante aclarar que estos resultados son parciales debido a que no se ha realizado el censo de usuarios del recurso hídrico en el área total de los municipios que hacen parte del acuífero.

Tabla 124. Demanda total por Municipios.

Municipio	demanda (l/s)
Purificación	0,910
Prado	1,279
Ortega	0,218
Natagaima	21,972
Coyaima	22,986
Total	47,365

Fuente: Elaboración propia. Proagua, 2018.

Figura 97. Comportamiento de la Demanda total por Municipios.



Fuente: Elaboración propia. Proagua, 2018.

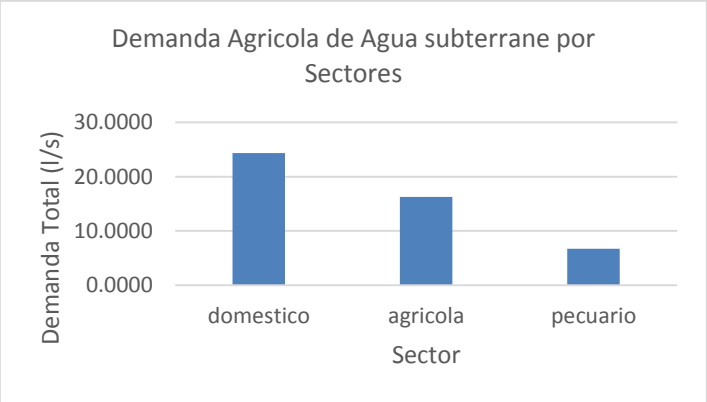
La demanda doméstica es la más representativa respecto a los otros sectores, con una magnitud de 24,368 l/s. La demanda agrícola presenta una magnitud de 16,257 l/s, mientras que, la menor demanda la presenta el sector pecuario del orden de 6,739 l/s. La demanda total asociada a todos los sectores y municipios censados hasta el momento es de 47, 365 l/s, ver Tabla 125 y Figura 98.

Tabla 125. Demanda total por Sectores

Sector	demanda (l/s)
domestico	24,3683
agrícola	16,2572
pecuario	6,7397
Toltal	47,3651

Fuente: Elaboración propia. Proagua, 2018.

Figura 98. Comportamiento de la Demanda total por Sectores



Fuente: Elaboración propia. Proagua, 2018.

11.6 Demanda de agua superficial

La demanda de agua superficial hace referencia al volumen de agua que es captada de ríos, quebradas, nacimientos, entre otros, y posteriormente conducida hasta los predios para ser empleada en uso doméstico, agrícola y pecuario. Se presenta a continuación la demanda hídrica superficial de los municipios de Natagaima y Coyaima, son datos parciales teniendo en cuenta que no se ha realizado el total del censo de usuarios del recurso hídrico en el municipio de Coyaima, cabe aclarar que el censo a la fecha solo cubre parte del área del sector sur del acuífero en estudio.

11.6.1 Demanda de Agua para Uso Agrícola (DUA)

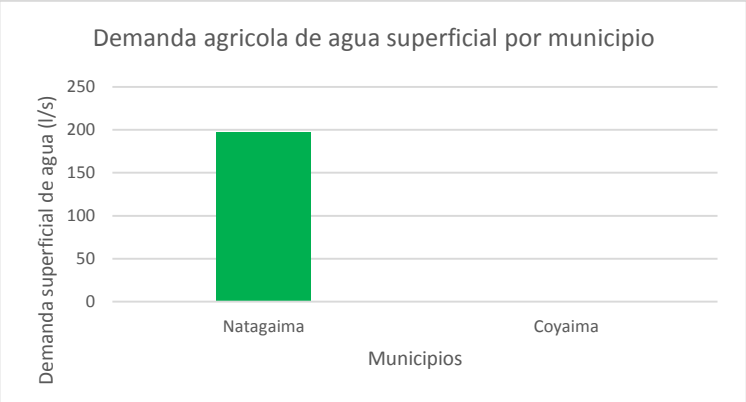
Como se observa en la Tabla 126 y Figura 99, el municipio de Natagaima presenta una demanda del recurso hídrico de 197,692 l/s para labores agrícolas, se hace salvedad de que en el municipio de Coyaima no se abarco el área total con el censo de usuarios del recurso hídrico del acuífero, razón por lo cual se presenta la información de forma parcial. Cabe mencionar que los cultivos de grandes extensiones son abastecidos por distritos de riego entre ellos el triángulo. En el municipio de Coyaima no se registra a la fecha demanda de recurso hídrico superficial para uso agrícola.

Tabla 126. Demanda agrícola de agua superficial por municipio.

Municipio	demanda (l/s)
Natagaima	197,692
Coyaima	0,000
Total	197,692

Fuente: Elaboración propia. Proagua, 2018.

Figura 99. Comportamiento de la Demanda agrícola de agua superficial por municipio.



Fuente: Elaboración propia. Proagua, 2018.

11.6.2 Demanda de Agua para uso Pecuario (DUP)

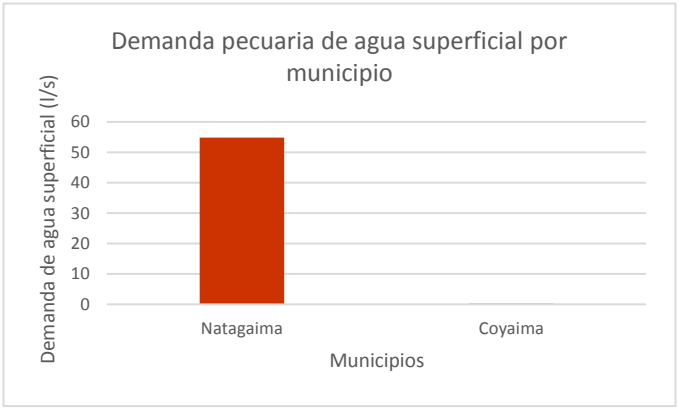
Como se puede observar en la Tabla 127 y Figura 100, en el municipio de Natagaima se presenta un alto consumo de agua para actividades pecuarias, del orden de 54,845 l/s, en relación al municipio de Coyaima, esto podría ocurrir debido a que en el municipio de Natagaima se realizó el censo en el 100 % del área, a diferencia de Coyaima donde se encuesto una porción del territorio. Predominan en la zona encuestada bovinos, y criadero de peces como cachama y tilapia. La demanda total por uso pecuario es de 55,032 l/s.

Tabla 127. Demanda pecuaria de agua superficial por municipio

Municipio	demanda (l/s)
Natagaima	54,845
Coyaima	0,187
Total	55,032

Fuente: Elaboración propia. Proagua, 2018.

Figura 100. Comportamiento de la Demanda pecuaria de agua superficial por municipio



Fuente: Elaboración propia. Proagua, 2018.

11.6.3 Demanda de Agua para uso Doméstico (DUD)

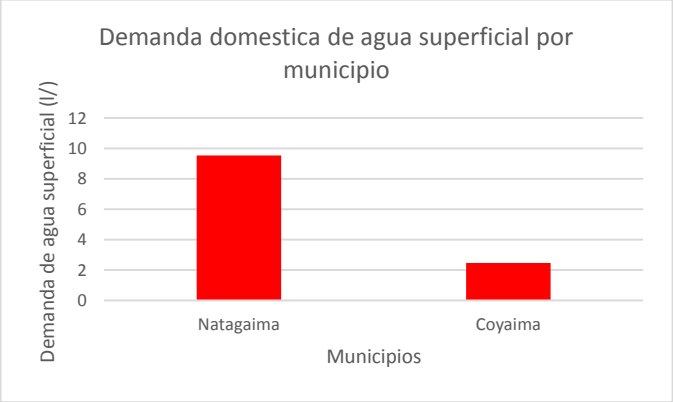
De acuerdo a la información de la Tabla 128 y Figura 101, existe una demanda para uso doméstico en el municipio de Natagaima de 9,277 l/s. En Coyaima dicha demanda es un poco menor de 2,450 l/s. La demanda total para este uso es de 11,977 l/s.

Tabla 128. Demanda doméstica de agua superficial por municipio

Municipio	demanda (l/s)
Natagaima	9,528
Coyaima	2,450
Total	11,977

Fuente: Elaboración propia. Proagua, 2018.

Figura 101. Comportamiento de la Demanda doméstica de agua superficial por municipio.



Fuente: Elaboración propia. Proagua, 2018.

11.6.4 Demanda Total de agua (DT)

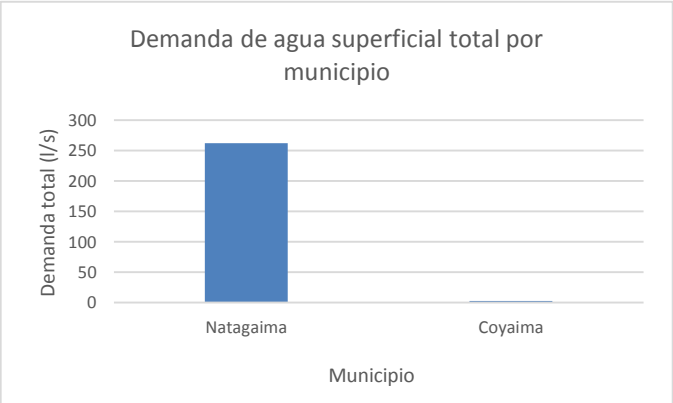
La demanda total de agua superficial en el municipio de Natagaima es de 262,064 l/s. En el área que abarcada el municipio de Coyaima se registra una demanda total de 2,665 l/s, ver Tabla 129 y Figura 102.

Tabla 129. Demanda Total de agua superficial por municipio

Municipio	demanda (l/s)
Natagaima	262,0645
Coyaima	2,6368
Total	264,7298

Fuente: Elaboración propia. Proagua, 2018.

Figura 102. Comportamiento de la Demanda Total de agua superficial por municipio



Fuente: Elaboración propia. Proagua, 2018.

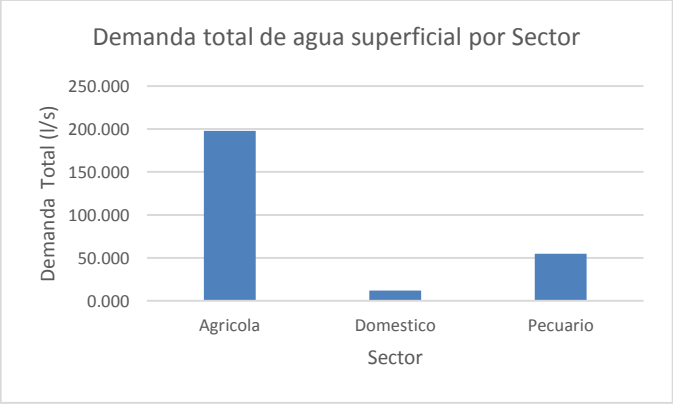
Respecto a la demanda total de agua por sectores, se tiene que, el Agrícola es el que genera mayor demanda, con magnitud de 197,692 l/s. Por otro lado, el sector doméstico genera la menor demanda de 11,977 l/s. La demanda total de agua superficial de todos los sectores es de 264,701 l/s, ver Tabla 130 y Figura 103.

Tabla 130. Demanda Total de agua superficial por Sector.

Sector	demanda (l/s)
Agrícola	197,692
Domestico	11,977
Pecuario	55,032
Total	264,701

Fuente: Elaboración propia. Proagua, 2018.

Figura 103. Comportamiento de la Demanda Total de agua superficial por Sector.



Fuente: Elaboración propia. Proagua, 2018.

12 COBERTURAS ACTUALES DE LA TIERRA IDENTIFICADOS EN LA CUENCA

En términos puntuales las coberturas de la Tierra, describe la cobertura como la unidad delimitable que surge a partir de un análisis de respuestas espectrales determinadas por sus características fisionómicas, ambientales y antrópicas diferenciables con respecto a la unidad próxima.

Por tal razón las transformaciones de las coberturas se han ido acelerando a escala global, regional y local, de allí se considera la gran relevancia de estos tipos de análisis y son considerados en muchos países como una de los principales orígenes que conllevan al deterioro ambiental.

12.1 Interpretación de imágenes satelitales.

Para el desarrollo del estudio la Corporación Autónoma Regional del Tolima – CORTOLIMA suministro 35 escenas con alta resolución del año 2017 entre los meses de enero, abril, mayo, junio y julio, que cuentan con la siguiente descripción técnica:

Tabla 131. Descripción técnica.

Características técnicas	Valores
Proveedor	Planet
Nivel de procesamiento	Imágenes ortorectificadas y correcciones radiometricas, utilizando los RPC y un modelo de elevación: L3A
Altitud de Órbita	475 Km
Banda multiespectral	Bandas multiespectrales : Azul, verde, rojo e infrarrojo
Tamaño de píxel (ortorrectificado)	3,125 m
Corrección geométrica	WGS84
Geometría de referencia horizontal	UTM
Profundidad de bits	16 bit
Formato Raster	GeoTIFF

Fuente: Elaboración propia. Proagua, 2018.

Estas imágenes permiten la verificación de información básica como ríos, vías, vegetación y construcciones.

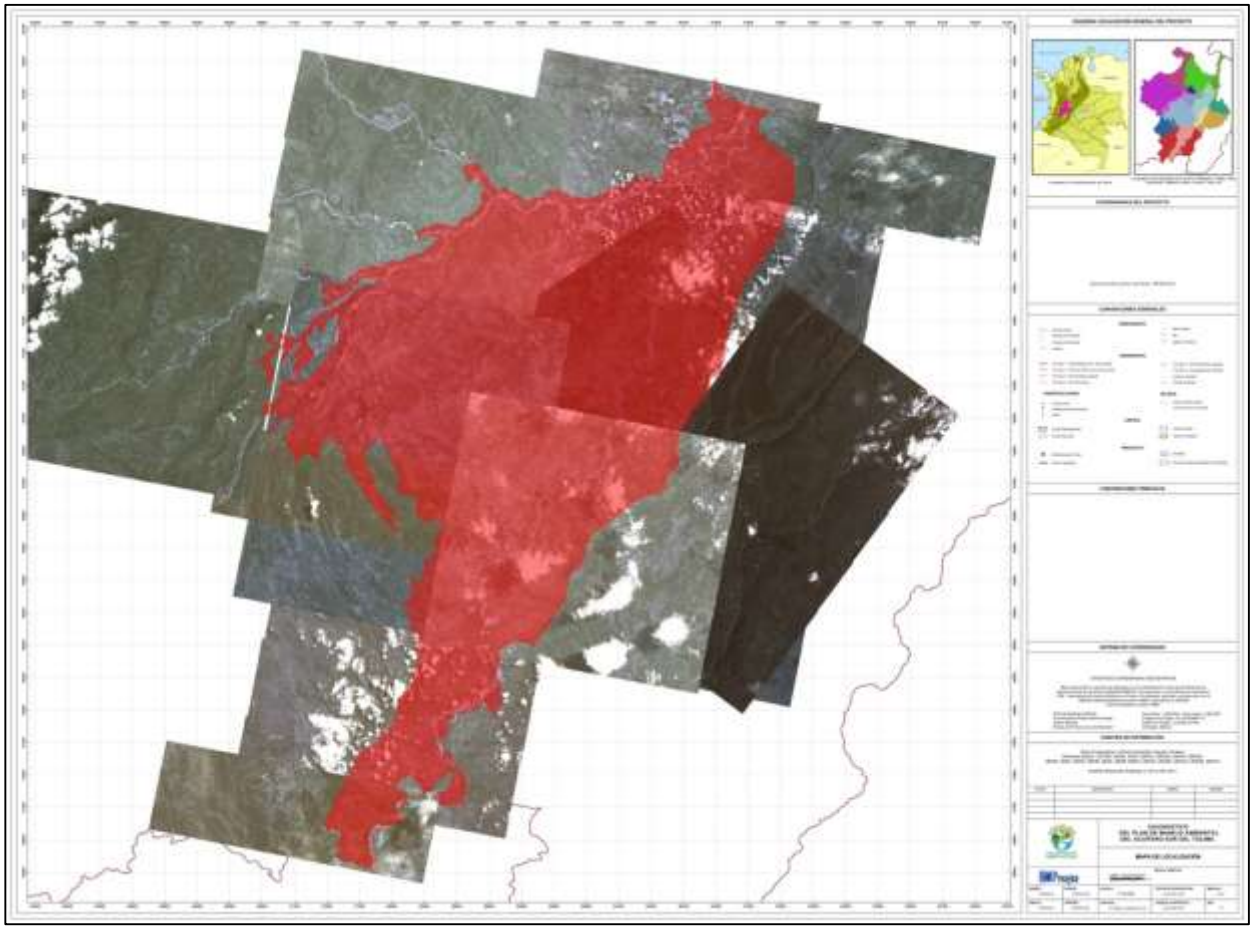
En el siguiente cuadro se tiene la relación de las imágenes adquiridas:

Tabla 132. Relación de las imágenes adquiridas.

Área KM²	TILE_ID	Fecha
4334,52	144124, 144126, 144127.	23 Enero 2017
	144138, 144139, 144140.	29 Abril 2017
	211621, 211622, 211622-1, 211623, 211624, 211625.	28 Mayo 2017
	143730, 143734.	2 Junio 2017
	143738, 143739, 143740, 143741.	6 Junio 2017
	144449, 144450, 144451.	22 Junio 2017
	202443, 202444, 202445.	28 Junio 2017
	143746, 143747, 143748, 143749, 143750, 143751.	29 Junio 2017
	143753.	5 Julio 2017
	143709, 143710, 143711.	8 Julio 2017

Fuente: Elaboración propia. Proagua, 2018.

Figura 104. Imágenes satelitales.



Fuente: Elaboración propia. Proagua, 2018.

12.1.1 Leyenda Corine Land Cover.

La metodología Corine Land Cover se adoptó en Colombia en el marco del programa de apoyo y la colaboración prestada por el Fondo Francés para el Medio Ambiente (FFEM), la Embajada de Francia en Colombia, el Instituto Geográfico Nacional de Francia (ING) y ONF Andina Colombia, con el fin de promover una metodología unificada y estandarizada para el contexto colombiano en relación a coberturas de la tierra.

La leyenda nacional para la elaboración del mapa de coberturas de la tierra de Colombia, según la metodología CORINE (Coordination of Information on the Environmental) Land Cover adaptada para el país, tiene como propósito la realización del inventario homogéneo de la cubierta biofísica (cobertura) de la superficie de la tierra a partir de la interpretación visual de imágenes de satélite asistida por computador y la generación de una base de datos geográfica.

Para la construcción de la leyenda nacional de coberturas de la tierra y la caracterización de las unidades que se presentan en este informe, se tomó como base la leyenda desarrollada para el acuífero del Sur del Tolima la Cauca-Magdalena elaborada conjuntamente por IDEAM, IGAC y Cormagdalena.

La leyenda nacional fue estructurada de manera jerárquica, derivando las unidades de coberturas de la tierra con base en criterios fisonómicos de altura y densidad, claramente definidos y aplicables a todas las unidades consideradas para un grupo de coberturas del mismo tipo. De esta manera, se garantiza que sea posible la inclusión de nuevas unidades o la definición de nuevos niveles de unidades para estudios más detallados, permitiendo su ubicación y definición rápidamente.

Las unidades de cobertura de la tierra presentes en el acuífero del Sur del Tolima son presentadas según la metodología propuesta para una escala 1:25.000 a partir de imágenes satelitales, tomando como base una unidad mínima cartografiable de 1 ha, que es definida como la menor superficie que puede ser representada sobre un mapa según la escala en un área de 4 x 4 mm (Prieggo, Bocco, Mendoza, & Garrido, 2008).

Tabla 133. Leyenda nacional de coberturas bajo la metodología Corine Land Cover.

1. TERRITORIOS ARTIFICIALIZADOS
1.1. Zonas urbanizadas
1.1.1. Tejido urbano continuo
1.1.2. Tejido urbano discontinuo
1.2. Zonas industriales o comerciales y redes de comunicación
1.2.1. Zonas industriales o comerciales
1.2.2. Red vial, ferroviarias y terrenos asociados
1.2.3. Zonas portuarias
1.2.4. Aeropuertos
1.2.5. Obras hidráulicas
1.3. Zonas de extracción minera y escombreras
1.3.1. Zonas de extracción minera
1.3.2. Zonas de disposición de residuos
1.4. Zonas verdes artificializadas, no agrícolas
1.4.1. Zonas verdes urbanas
1.4.2. Instalaciones recreativas
2. TERRITORIOS AGRÍCOLAS
2.1. Cultivos transitorios
2.1.1. Otros cultivos transitorios
2.1.2. Cereales
2.1.3. Oleaginosas y leguminosas
2.1.4. Hortalizas
2.1.5. Tubérculos
2.2. Cultivos permanentes
2.2.1. Cultivos permanentes herbáceos
2.2.1.1. Otros cultivos permanentes herbáceos
2.2.1.2. Caña
2.2.1.3. Plátano y banano
2.2.1.4. Tabaco
2.2.1.5. Papaya
2.2.1.6. Amapola
2.2.2. Cultivos permanentes arbustivos
2.2.2.1. Otros cultivos permanentes arbustivos
2.2.2.2. Café
2.2.2.3. Cacao
2.2.2.4. Viñedos
2.2.2.5. Coca
2.2.3. Cultivos permanentes arbóreos
2.2.3.1. Otros cultivos permanentes arbóreos
2.2.3.2. Palma de aceite
2.2.3.3. Cítricos
2.2.3.4. Mango
2.2.4. Cultivos agroforestales
2.2.5. Cultivos confinados
2.3. Pastos
2.3.1. Pastos limpios
2.3.2. Pastos arbolados
2.3.3. Pastos enmalezados
2.4. Áreas agrícolas heterogéneas
2.4.1. Mosaico de cultivos
2.4.2. Mosaico de pastos y cultivos
2.4.3. Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales
2.4.4. Mosaico de pastos con espacios naturales
2.4.5. Mosaico de cultivos y espacios naturales

3. BOSQUES Y ÁREAS SEMI-NATURALES
3.1. Bosques
3.1.1. Bosque denso
3.1.1.1.1. Bosque denso alto de tierra firme
3.1.1.1.2. Bosque denso alto inundable
3.1.1.2.1. Bosque denso bajo de tierra firme
3.1.1.2.2. Bosque denso bajo inundable
3.1.2. Bosque abierto
3.1.2.1.1. Bosque abierto alto de tierra firme
3.1.2.1.2. Bosque abierto alto inundable
3.1.2.2.1. Bosque abierto bajo de tierra firme
3.1.2.2.2. Bosque abierto bajo inundable
3.1.3. Bosque fragmentado
3.1.4. Bosque de galería y ripario
3.1.5. Plantación forestal
3.2. Áreas con vegetación herbácea y/o arbustiva
3.2.1.1. Herbazal denso
3.2.1.1.1.1. Herbazal denso de tierra firme no arbolado
3.2.1.1.1.2. Herbazal denso de tierra firme arbolado
3.2.1.1.1.3. Herbazal denso de tierra firme con arbustos
3.2.1.1.2.1. Herbazal denso inundable no arbolado
3.2.1.1.2.2. Herbazal denso inundable arbolado
3.2.1.1.2.3. Arracachal
3.2.1.1.2.4. Helechal
3.2.1.2. Herbazal abierto
3.2.1.2.1. Herbazal abierto arenoso
3.2.1.2.2. Herbazal abierto rocoso
3.2.2.1. Arbustal denso
3.2.2.2. Arbustal abierto
3.2.3. Vegetación secundaria o en transición
3.3. Áreas abiertas, sin o con poca vegetación
3.3.1. Zonas arenosas naturales
3.3.2 Afloramientos rocosos
3.3.3 Tierras desnudas y degradadas
3.3.4 Zonas quemadas
3.3.5 Zonas glaciares y nivales
4. AREAS HUMEDAS
4.1. Áreas húmedas continentales
4.1.1. Zonas Pantanosas
4.1.2. Turberas
4.1.3. Vegetación acuática sobre cuerpos de agua
4.2. Áreas húmedas costeras
4.2.1. Pantanos costeros
4.2.2. Salitral
4.2.3. Sedimentos expuestos en bajamar
5. SUPERFICIES DE AGUA
5.1. Aguas continentales
5.1.1. Ríos (50 m)
5.1.2. Lagunas, lagos y ciénagas naturales
5.1.3. Canales
5.1.4. Cuerpos de agua artificiales
5.2. Aguas marítimas
5.2.1. Lagunas costeras
5.2.2. Mares y océanos
5.2.3. Estanques para acuicultura marina

Fuente: IDEAM, 2010

La leyenda nacional para la zonificación de las coberturas de la tierra a escala 1:25.000 adaptada para el proyecto del diagnóstico del Plan de Manejo Ambiental del Acuífero Sur del Tolima proporciona una versión actualizada de la zona de interés permitiendo sobre poner la información con otros elementos temáticos que ayuden a interpretar la dinámica hídrica de la zona.

12.1.2 Pre-procesamiento de imágenes satelitales.

El pre-procesamiento de las imágenes satelitales consiste en la realización de una serie de procesos que deben ser realizados antes de la clasificación y que garantizarán el aprovechamiento óptimo de las imágenes en orden de obtener resultados más precisos y confiables. El objetivo de estos procesos es el mejoramiento de las imágenes en cuanto a las distorsiones o efectos producidos por los efectos de la atmósfera sobre la superficie y finalizando con la generación de un mosaico de manera que toda la zona de estudio pueda ser trabajada al mismo tiempo.

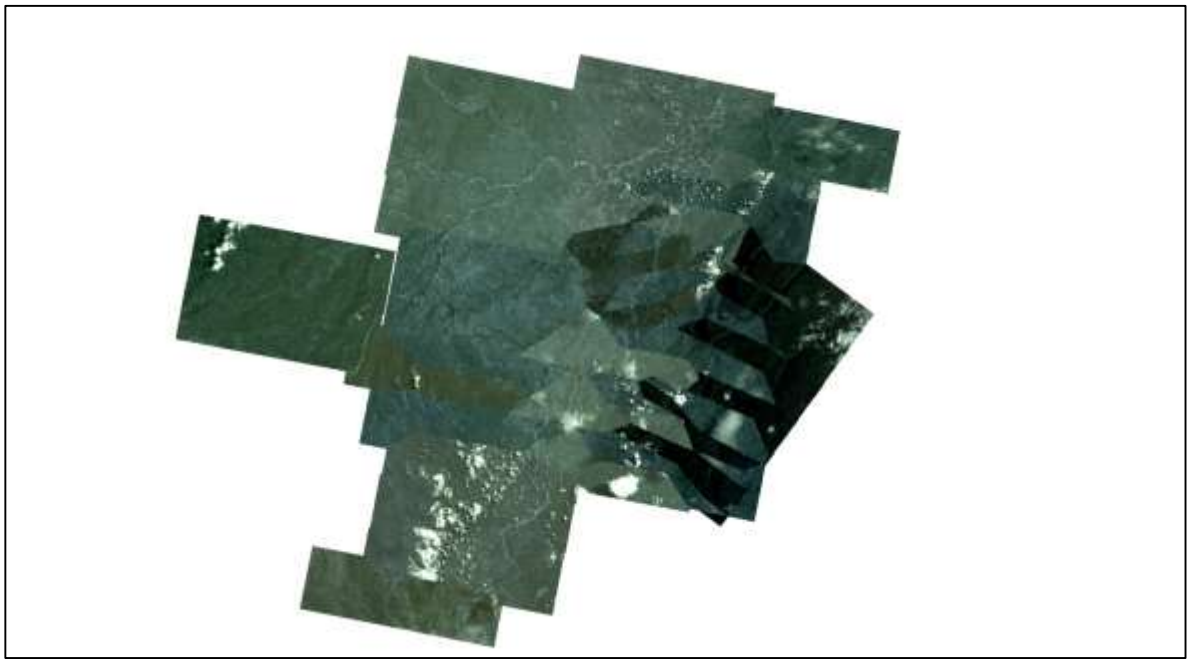
12.1.2.1 Corrección atmosférica.

La corrección atmosférica trata de evaluar y eliminar las distorsiones que la atmósfera introduce en los valores de radiancia que llegan al sensor desde la superficie terrestre. Por tanto, se va a basar en modelos físicos más complejos que los modelos estadísticos. Estas correcciones se realizaron mediante herramientas del programa ENVI 5.3.

12.1.2.2 Generación de mosaico.

La generación del mosaico se realizó por medio de metadatos creados en el programa ENVI 5.3, donde estos provienen de la fuente de datos, la extensión, los tamaños de las celdas y la profundidad de bits.

Figura 105. Generación de mosaicos.



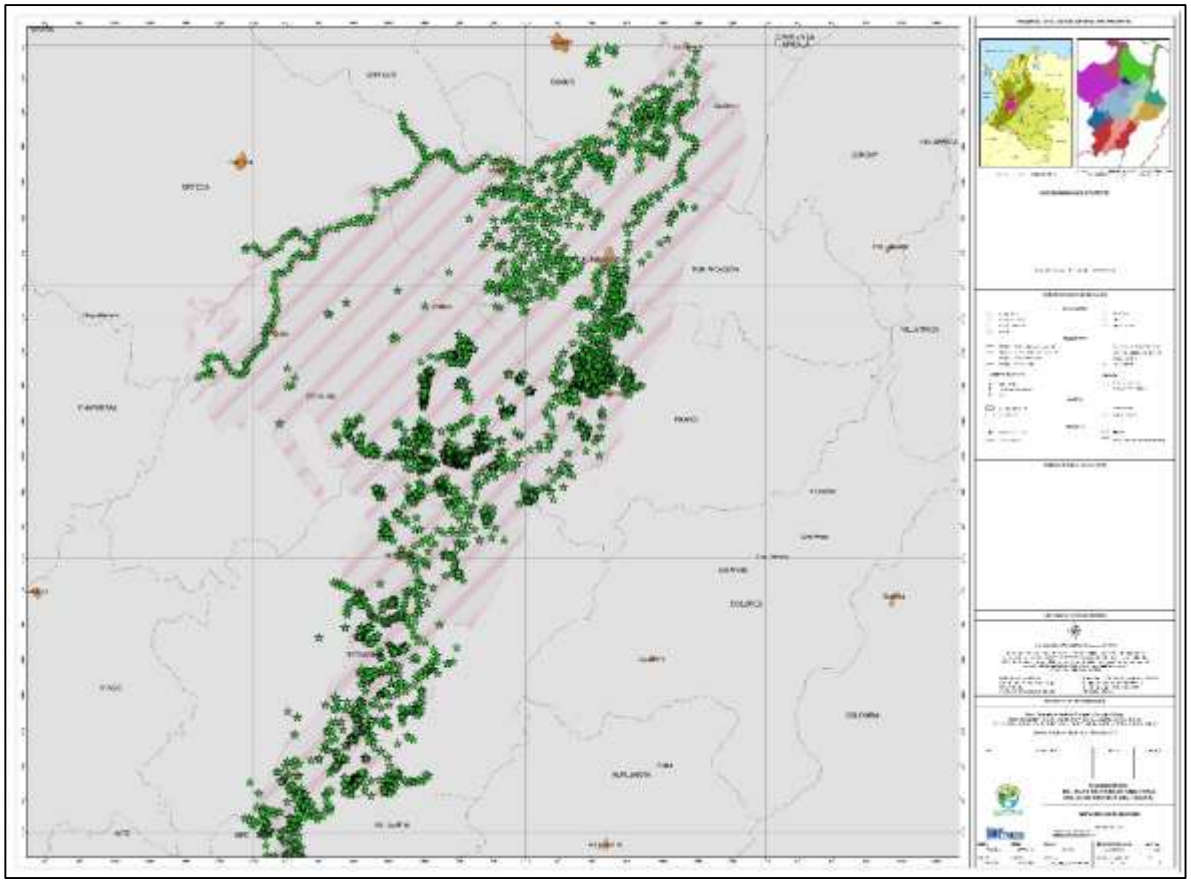
Fuente: Elaboración propia. Proagua, 2018.

Debido a la diferencia de las fechas de las escenas y rumbos de las mismas, fue complejo homogenizar la visualización del mosaico, pero si fue posible realizar los cálculos necesarios para continuar con el proceso de clasificación.

12.1.3 Diseño de comprobación en campo de las coberturas.

El trabajo de campo consistió en la captura de información real in situ georreferenciada que serviría como insumo a la posterior clasificación realizada de manera supervisada y posclasificada según la leyenda de coberturas de Corine. Es preciso anotar que se realizó más de 1000 puntos de verificación, áreas interés, inventario de usuarios y recorridos puntuales en la zona de interés.

Figura 106. Puntos de campo.



Fuente: Elaboración propia. Proagua, 2018.

Adicionalmente, gracias a su georreferenciación, la información tomada en campo sirvió para realizar un control de calidad a la segmentación final clasificada según la leyenda de coberturas de Corine utilizando los datos in situ como los datos reales u observados y comparados con los datos de la clasificación.

Las siguientes fotos ilustran algunas de las entidades identificadas en campo con el objetivo de tener una claridad del tipo de cobertura en la zona de interés.

Fotografía 22. Vereda Balsillas municipio de Natagaima, margen izquierda Río Magdalena.

Fotografía 23.Vereda Velú la Virginia, municipio de Natagaima.

Fotografía 24. Vereda Hilarquito, municipio de Coyaima.

Fotografía 25. Vereda Conchal, municipio de Prado.

Fotografía 26. Río Cucuana, municipio de Ortega.

Fotografía 27. Vereda Guamal, municipio de Guamo

12.2 Cartografía temática

La cartografía temática levantada en este proyecto responde a las necesidades de información planteadas por la Corporación Autónoma Regional del Tolima – CORTOLIMA buscando mejorar el conocimiento y mayor entendimiento de la dinámica hidrológica de las aguas subterráneas en el acuífero del Sur del Tolima.

Tabla 134. Información de la temática disponible.

Componente	Tema	Información básica
Datos referencia	Inventario del recurso hídrico, área de influencia acuífero sur del Tolima.	PROAGUA.
Medio abiótico		
Suelos	Uso del Suelo, Unidad Tierra Aptitud de Uso.	Se cuenta con la información del IGAC escala 1:100.000
Hidrología	Cuencas Hidrográficas, drenajes sencillos y dobles del área de influencia del acuífero del sur del Tolima.	CORTOLIMA
Medio biótico		
Ecosistemas Terrestres	Cobertura Tierra: cuerpos de agua, vegetación, vías y otro tipo de construcciones, cuerpos rocosos, cuerpos con nieve y superficies húmedas, algunos de estos naturales y otros afectados y/o producto de las necesidades humanas.	Se cuenta con la información del IGAC escala 1:100.000 Imágenes satelitales

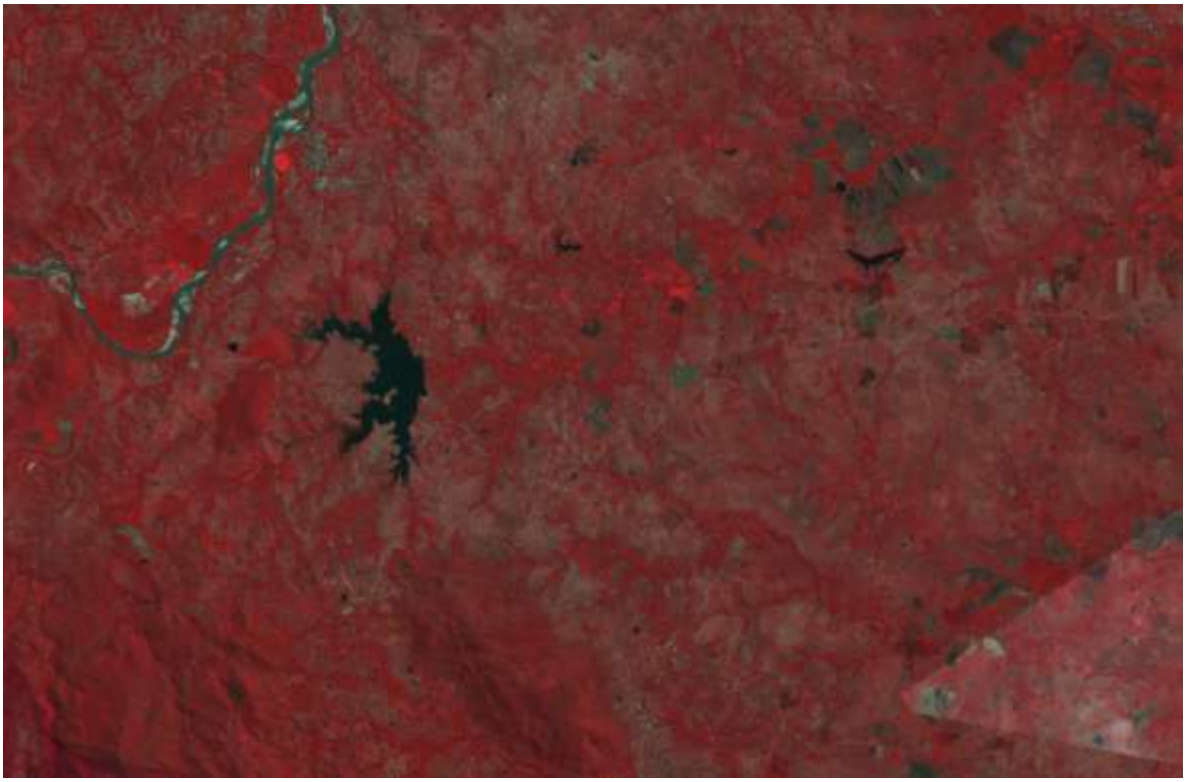
Fuente: Elaboración propia. Proagua ,2018.

12.2.1 Segmentación

La clasificación estadística es el procedimiento convencional de análisis digital de imágenes la cual constituye un proceso de análisis de píxeles de forma aislada. Este abordaje presenta la limitación de que el análisis puntual se basa únicamente en atributos espectrales. En orden de evitar este problema se realizó una segmentación del mosaico donde se extrajeron los objetos relevantes para la aplicación deseada (Venturieri & Santos, 1998)

La segmentación divide la imagen en regiones homogéneas, conformadas por un conjunto de pixeles contiguos con uniformidad entre sí, de acuerdo a umbrales de similitud y área definidos por el usuario (Schowengerdt, R.A, 1983).

Figura 107. Zoom en segmentación de mosaico, Embalse triangulo del sur, municipio de Coyaima



Fuente: Elaboración propia. Proagua, 2018.

12.2.2 Clasificación supervisada

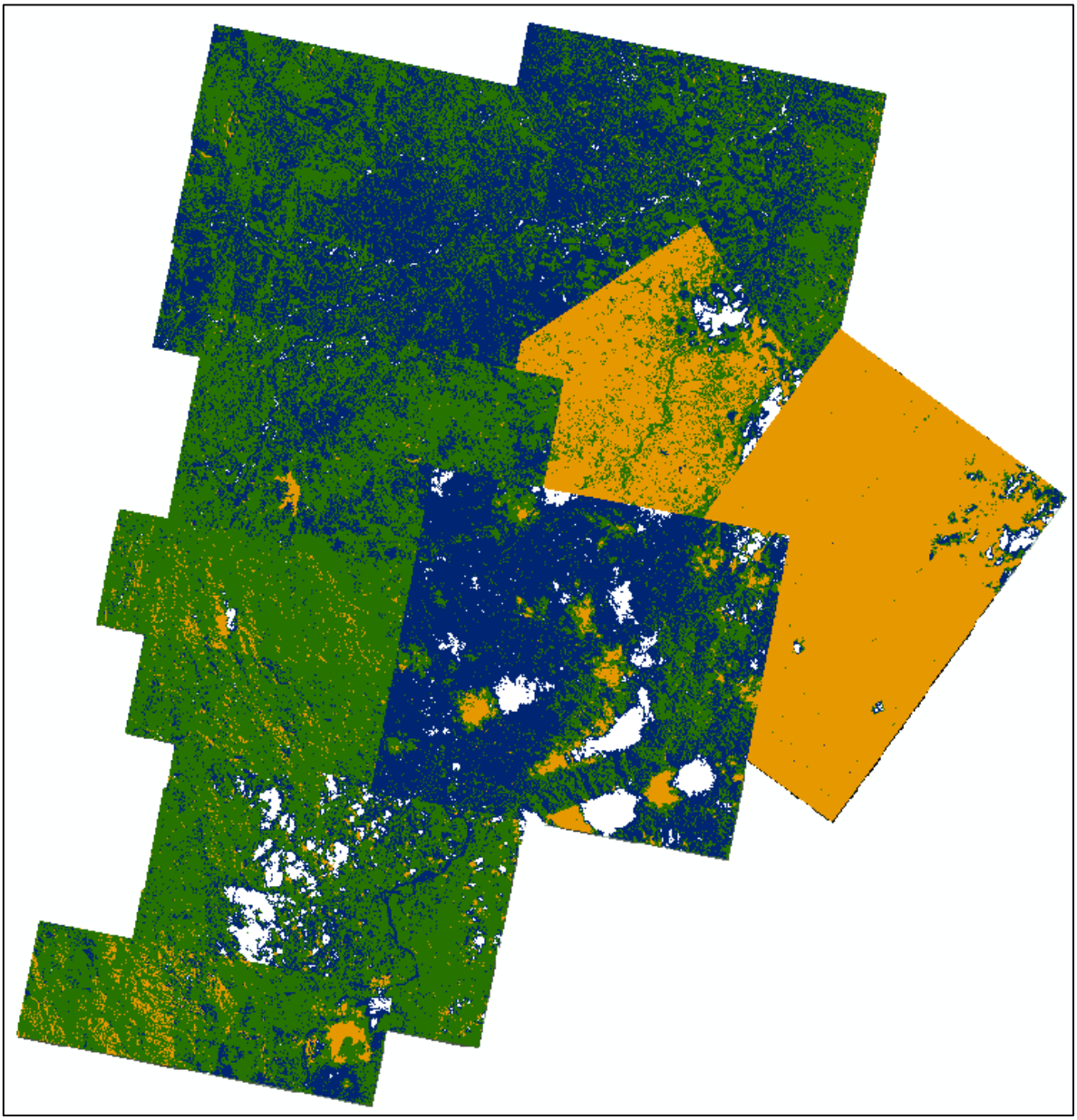
Se realizó la clasificación por medio de entidades, la información espectral de cada píxel y la información espacial que envuelve la relación entre los píxeles y sus vecinos. Para la clasificación por entidades se tuvo en cuenta, la secuencia de escenas por cada región, mosaico y simular la clasificación por el intérprete.

Fueron generadas 8 clases para realizar la clasificación:

- Tejido Urbano
- Bosques
- Pastos
- Cultivos
- Suelos
- Nubes
- Sombras

La clasificación supervisada generó por lo tanto para cada polígono de la segmentación un apoyo en cuanto a la clasificación del primer y segundo nivel de la escala de coberturas de Corine land cover, generando el insumo necesario para la interpretación visual y edición vectorial en orden de diligenciar los niveles restantes.

Figura 108. Clasificación supervisada en el acuífero del sur del Tolima



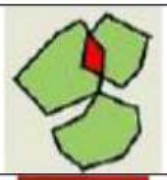
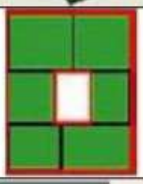
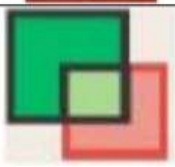
Fuente: Elaboración propia. Proagua, 2018.

12.2.3 Interpretación visual y edición vectorial

La interpretación visual y la edición manual es un proceso que se realizó mediante la técnica PIAO (Photo Interprétation Assisté par Ordinateur) utilizada en la metodología Corine Land Cover adaptada para Colombia. La técnica PIAO realiza la identificación y delimitación de unidades en pantalla, se realiza la asignación de códigos de cobertura según la leyenda y se diligencian los campos de atributos.

Durante la interpretación se aplican reglas básicas de generalización que permiten decidir sobre polígonos que no cumplen el criterio de área mínima de mapeo establecida, siendo en este caso de 1 ha, los cuales pueden encontrarse rodeados por una unidad mayor en forma individual o que hagan parte de un grupo de unidades, donde se aplican criterios de generalización en orden de incorporar estas coberturas de área reducida en las coberturas vecinas que sí cumplen con el área mínima cartografiable para la escala requerida. De igual manera, aquellos polígonos adyacentes que compartían el mismo tipo de cobertura fueron unidos y convertidos en una sola entidad mayor.

Figura 109. Criterios topológicos utilizados en la metodología Corine land cover Colombia

Los polígonos no pueden superponerse.	
No deben quedar áreas sin interpretar, debe ser una capa continua sin baches (huecos).	
Los polígonos de cobertura deben estar contenidos dentro del marco de cada plancha.	

Fuente IDEAM, IGAC, CORMAGDALENA

12.2.4 Base de datos geográfica resultante.

El resultado final es un archivo en formato Shapefile que contiene los códigos diligenciados según la clasificación de coberturas por la metodología de Corine, contemplado en el diccionario de datos geográficos de la Agencia Nacional de Licencias Ambientales – ANLA, adoptados en la resolución 2182 de 2016. Los atributos de dicho archivo son mostrados en la siguiente imagen:

Figura 110. Estructura del archivo.

Descripción Tema	*Cobertura de la Tierra:*
	Corresponde al mapa de cobertura de la tierra, de acuerdo con la clasificación metodológica Corine Land Cover.
Feature Class:	*CoberturaTierra*
Geometría:	*Polígono*

CAMPO	TIPO DE DATO	TAMAÑO	DESCRIPCIÓN	DOMINIO	OBLIGACIÓN/CONDICIÓN
EXPEDIENTE	String	20	Número de expediente asignado por la ANLA para el licenciamiento.	N/A	Condicional
OPERADOR	String	100	Empresa solicitante o titular de la licencia.	N/A	Obligatorio
PROYECTO	String	200	Nombre del proyecto objeto de licenciamiento o licenciado.	N/A	Obligatorio
ID_COBERT	Integer	4	Identificador único del polígono.	N/A	Obligatorio
N1_COBERT	Double	8	Categoría principal de la cobertura.	Dom_CateCober	Obligatorio
N2_COBERT	Double	8	Subcategoría o segundo nivel de la cobertura.	Dom_SubcatCober	Obligatorio
N3_COBERT	Double	8	Clase o tercer nivel de la cobertura.	Dom_Clas_Cober	Obligatorio
N4_COBERT	Double	8	Subclase o cuarto nivel de la cobertura.	Dom_Subclas_Cober	Condicional
N5_COBERT	Double	8	Cobertura del quinto nivel.	Dom_Nivel5_Cober	Condicional
N6_COBERT	Double	8	Cobertura del sexto nivel.	Dom_Nivel6_Cober	Condicional
NOMENCLAT	Integer	4	Nomenclatura para la cobertura de la tierra correspondiente al nivel de cobertura más detallado al que se llegó en la caracterización (código corine land cover).	N/A	Obligatorio
OBSERV	String	255	Incluye las observaciones que se consideren pertinentes para el elemento.	N/A	Opcional
AREA_ha	Double	8	Área en hectáreas (ha) de cada uno de los polígonos.	N/A	Obligatorio

Fuente: Elaboración propia. Proagua, 2018.

Tabla 135. Área clasificada por nivel de detalle.

Nivel	Área Clasificada (ha)	Porcentaje (%)
1	139594,92	100
2	139594,92	100
3	139594,92	100
4	29261,08	21
5	86,85	0,06

Fuente: Elaboración propia. Proagua, 2018.

Adicionalmente, en la siguiente tabla se muestra el área en hectáreas y su respectivo porcentaje respecto al total de todas las coberturas clasificadas según la leyenda de coberturas de Corine.

Tabla 136. Área clasificada por cobertura.

Cobertura	Símbolo	Área (ha)	%
Tejido urbano continuo	1.1.1.	807,97	0,6
Tejido urbano discontinuo	1.1.2.	807,64	0,6
Zonas industriales o comerciales	1.2.1.	20,5	0,0
Otros cultivos transitorios	2.1.1.	1209,44	0,9
Arroz	2.1.2.1.	26408,86	18,9
Otros cultivos permanentes arbóreos	2.2.3.1.	68,16	0,0
Pastos limpios	2.3.1.	41301,58	29,6
Pastos arbolados	2.3.2.	284,25	0,2

Tabla 136. Área clasificada por cobertura. (Continuación).

Cobertura	Símbolo	Área (ha)	%
Pastos enmalezados	2.3.3.	5402,05	3,9
Mosaico de cultivos	2.4.1.	1119,2	0,8
Mosaico de pastos y cultivos	2.4.2.	21524,97	15,4
Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales	2.4.3.	10510,65	7,5
Mosaico de pastos con espacios naturales	2.4.4.	8260,28	5,9
Mosaico de cultivos y espacios naturales	2.4.5.	344,87	0,2
Bosque de galería y ripario	3.1.4.	2568,26	1,8
Herbazal denso de tierra firme	3.2.1.1.1.	85,48	0,1
Herbazal abierto rocoso	3.2.1.2.2.	1,38	0,0
Arbustal denso	3.2.2.1.	1055,19	0,8
Arbustal abierto	3.2.2.2.	1420,76	1,0
Vegetación secundaria o en transición	3.2.3.	4627,92	3,3
Zonas arenosas naturales	3.3.1.	553,7	0,4
Tierras desnudas y degradadas	3.3.3.	6094,22	4,4
Zonas quemadas	3.3.4.	70,38	0,1
Vegetación acuática sobre cuerpos de agua	4.1.3.	256,87	0,2
Ríos (50 m)	5.1.1.	4533,79	3,2
Lagunas, lagos y ciénagas naturales	5.1.2.	35,28	0,0
Embalses	5.1.4.1.	221,25	0,2

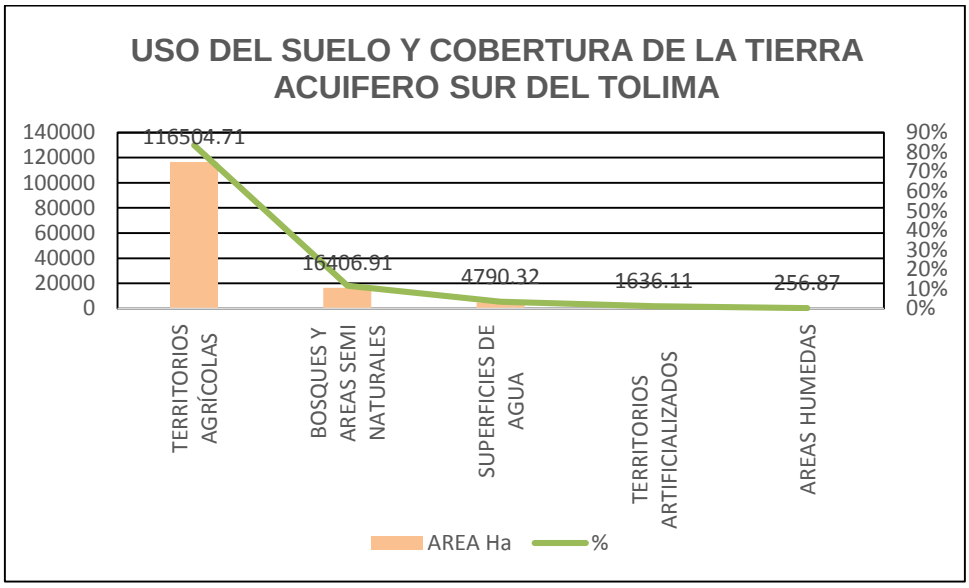
Fuente: Elaboración propia. Proagua, 2018.

12.3 Descripción de la cobertura

La cobertura de mayor peso corresponde a territorios agrícolas (83%), el cual comprende un grupo de coberturas vegetales de tipo cultivos transitorios, pastos y cereales, es territorio cuya principal economía es la agricultura, una zona dedicada fuertemente a la producción de alimento, ganadería, pastos en rotación y en descanso.

La siguiente cobertura de mayor influencia en la zona de estudio es bosques y áreas seminaturales, con un valor del (12%), áreas seminaturales como zonas de suelos desnudos y afloramientos rocosos y arenosos y, coberturas resultado de un fuerte manejo antrópico como plantaciones forestales y vegetación secundaria o en transición.

Figura 111. Uso del suelo y cobertura de La Tierra Acuífero Sur del Tolima



Fuente: Elaboración propia. Proagua, 2018.

13 ACTUALIZACIÓN DEL MODELO HIDROGEOLÓGICO MODLFLOW

13.1 Introducción.

La política nacional de la gestión integral del recurso hídrico, plantea estrategias y directrices para el uso y aprovechamiento del recurso hídrico de manera tal que se garantice la preservación del mismo en el tiempo, esta política responde al plan de desarrollo nacional 2006 – 2010. En el marco de la política y en cumplimiento con el decreto 1640 de 2012, el cual reglamenta la planificación y manejo de las cuencas hidrográficas y los acuíferos, se formuló la guía metodológica para la formulación de planes de manejo ambiental de los acuíferos.

Es así el contrato 754 del 2017 tiene como objetivo llevar a cabo la primera fase de la etapa de diagnóstico y aprestamiento del Plan de Manejo Ambiental del Acuífero del Sur de Tolima, el cual comprende los municipios de Natagaima, Coyaima, Purificación, Guamo, Saldaña, Suarez, Ortega, San Luis y Prado.

En la fase diagnóstico es necesario el levantamiento de información secundaria, como cartografía, información geológica, hidrológica, climática e información primaria como el inventario de usuarios del recurso hídrico subterráneo y superficial.

Tambien, el alcance de la consultoría esta la compra y actualización de la licencia del software ModFlow versión 5.1 por el distribuidor autorizado Waterloo Hidrogeologic, con el propósito de modelar las condiciones actuales y el estado del recurso hídrico del acuífero del sur de Tolima.

13.2 Objetivo

Con información secundaria y el levantamiento de información primaria, como el inventario de usuarios del recurso hídrico, construir insumos que permitan navegar en el software ModFlow y construir una parte del modelo en la aplicación en mención.

13.3 Justificación

La exploración integral de los recursos hídricos no basta en conocer volúmenes, caudales, áreas superficiales o subterráneas, es necesario navegar en conceptos geofísicos, que proporcionan insumos necesarios para la construcción de modelos geométricos y conceptuales de un sistema, en el caso de interés, acuífero.

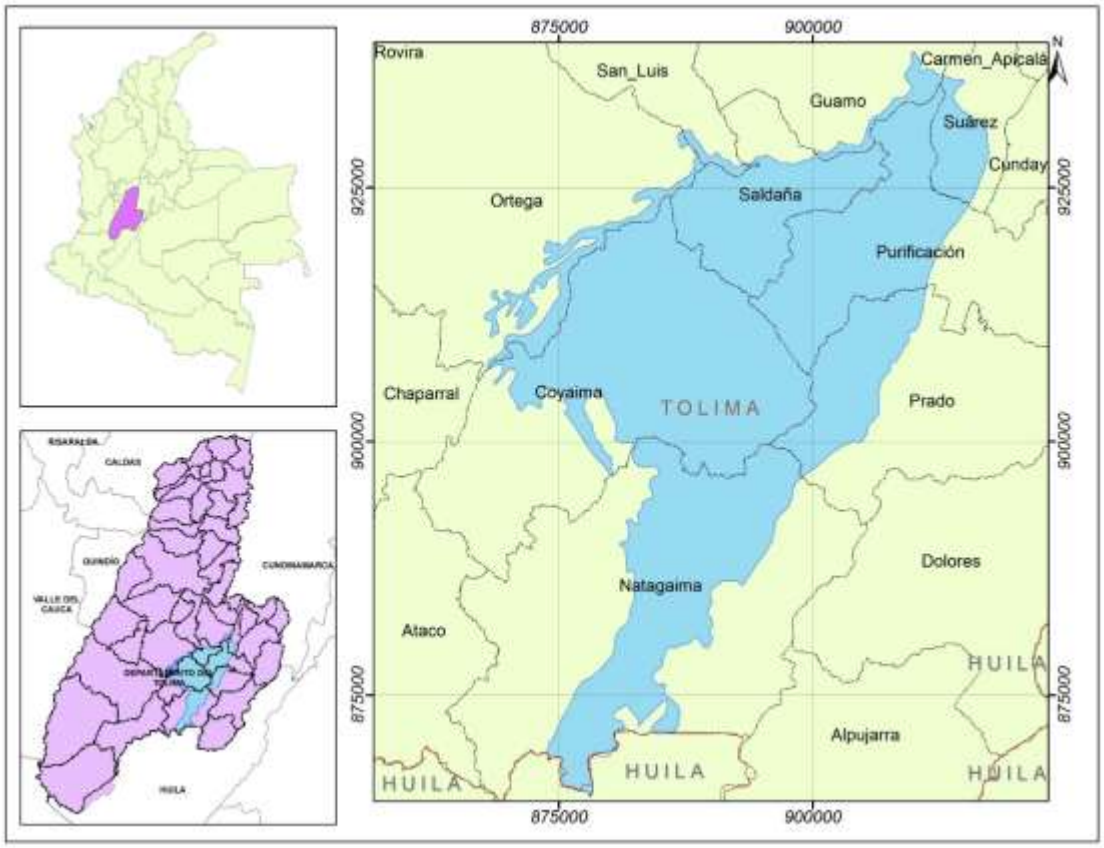
Estos modelos son útiles y necesarios para conocer las condiciones de comportamiento del sistema, brindar una argumentación más robusta para la planificación del territorio, toma de decisiones de las condiciones reales del terreno, una administración del agua asertiva, enfocadas en:

- Identificar problemáticas hídricas y sociales.
- Minimizar focos de contaminación.
- Gestión y planificación sostenible del recurso hídrico.
- Optimizar los recursos humanos, físicos y económicos de la región.

13.4 Localización del área de estudio

En la Figura 112 la zona de interés se ubica al sur del departamento del Tolima, ubicado en el centro del país. El área delimitada del acuífero corresponde a los municipios de Natagaima, Coyaima, Prado, Ortega, San Luis, Guamo, Saldaña, Purificación y Suarez.

Figura 112. Localización acuífero sur de Tolima

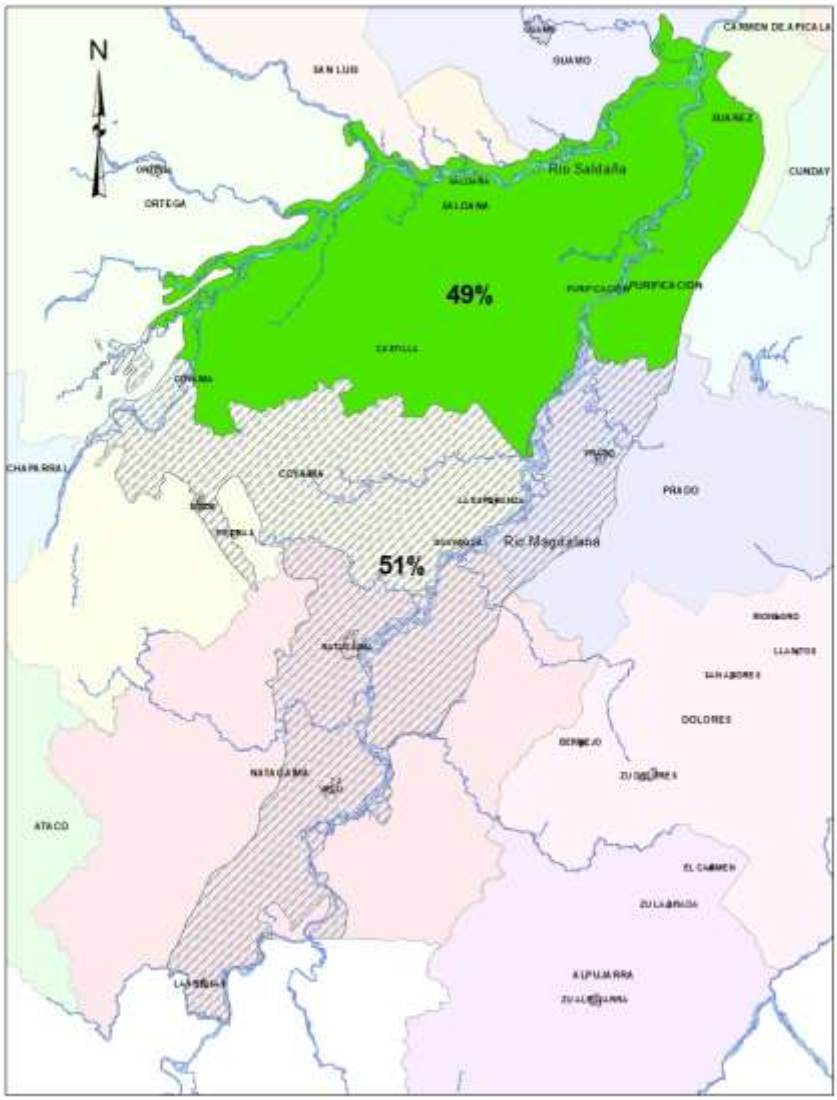


Fuente: Elaboración propia. Proagua, 2018.

El acuífero del sur del Tolima se encuentra en la jurisdicción de los municipios de Natagaima, Coyaima, Ortega, Prado, Purificación, San Luis, Saldaña, Suarez, Guamo, zona donde la principal fuente económica es la agricultura (arroz, maíz, algodón), ganadería, piscicultura y la crianza de cerdos. En promedio la a altura sobre el nivel del mar es de 400 m.s.n.m, con temperaturas que van desde los 26°C a los 30°C.

Para efectos de la construcción del modelo en ModFlow, se escogió el área cubierta por el inventario de usuarios del recurso hídrico superficial y subterráneo la cual se representa en la Figura 113 con un valor de 51% del área total del acuífero del Sur del Tolima, el cual limita al sur el rio Pata, al norte el municipio de Coyaima centro poblado de Castilla, al occidente el municipio de Chaparral y al oriente el municipio de Prado.

Figura 113. Localización área de interés del modelo ModFlow



Fuente: Elaboración propia. Proagua, 2018

13.5 Base teórica de la modelación matemática de aguas subterráneas

La hidrogeología comprende el conocimiento de las condiciones geológicas, hidrológicas y de las leyes físicas que rigen el origen, la presencia, el movimiento y las propiedades de las aguas subterráneas. Incluye también la aplicación de estos conocimientos a los aprovechamientos humanos, como son la investigación, prospección, captación, explotación, gestión y protección de las aguas subterráneas (Sanz *et al*., 2014).

Atendiendo esta definición es necesario acotar aspectos técnicos de interés para el desarrollo del modelo, que permite comprender de una mejor manera el desarrollo del ejercicio.

13.5.1 Sistema Acuífero

Desde el punto de vista hidrogeológico es clásica, la clasificación de un acuífero dependiendo de sus velocidades de transmisión de agua. En la definición técnico- científica, un acuífero, hace referencia a una formación geológica. Así entonces un sistema acuífero seria:

Un conjunto delimitado que regula el funcionamiento hidrogeológico, que comprende el aporte de agua en diversas direcciones y su acumulación en un conjunto de rocas, que contribuye a transportar y almacenar agua.

Considerados como embalses subterráneos, los acuíferos constituyen sistemas dinámicos en los que se operan entradas y salidas, y en los que se cumplen las ecuaciones de flujo y transporte (Sanz *et al.,* 2014).

13.5.2 Balance Hidrogeológico

Se sabe que el balance de masa es una expresión de la conservación de la materia, y definir un sistema mediante el uso de entradas y salidas permite explicar dicho sistema. Así que al diseñar un modelo de flujo de aguas subterráneas es indispensable recurrir al balance hidrogeológico.

También conocido como balance de aguas subterráneas, es la diferencia entre la suma total de las entradas (recarga) y la suma total de las salidas (descarga) y representa el volumen de agua perdido o ganado anualmente por almacenamiento no renovable del subsuelo (Silva, 2003).

De acuerdo a la ley de la conservación, la ecuación de balance volumétrico es la siguiente:

$$Entrada\ (E) - Salidas\ (S) = Cambio\ de\ almacenamiento$$

Aplicando esta ecuación al estudio del sistema acuífero las entradas quedan representadas por la recarga total, las salidas por la descarga total Tabla 137 y el cambio de masa por el cambio de almacenamiento de una unidad hidrogeológica (Silva, 2003).

Tabla 137. Balance hidrogeológico

Entradas	Salidas
Precipitación	Extracción por bombeo
Escorrentía	Evapotranspiración
Infiltración vertical y lateral	Salidas de aguas superficiales y laterales
Aguas de retorno	Salidas de corrientes subterráneas e infiltración

Fuente: Elaboración propia. Proagua, 2018.

13.5.3 Modelación de un sistema acuífero

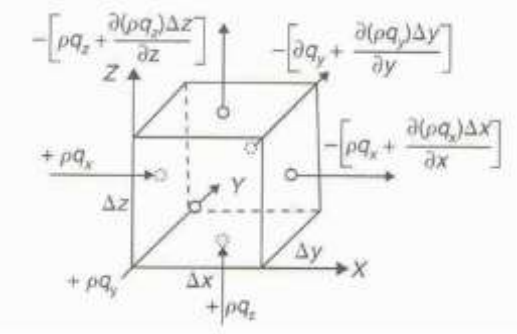
Se condiciona a la teoría elemental del flujo del agua en los medios porosos saturados, empleando el uso de las ecuaciones diferenciales que permitirán conocer el comportamiento hidrogeológico referente al almacenamiento y movimiento del agua subterránea.

13.6 Construcción del modelo MODFLOW

El código de ModFlow resuelve numéricamente las ecuaciones del flujo de agua subterránea para un medio poroso. Basado en el programa original del United States Geological Survey (USGS), McDonald y Harbaugh (1988) se convierte en el estándar mundial para la modelación tridimensional de flujo y transporte.

El método numérico que utiliza para resolver la ecuación de flujo transitorio es, un bloque centrado en diferencias finitas, utilizando métodos iterativos para obtener la solución del sistema de ecuaciones que simula el transporte de fluido en un medio poroso Figura 114.

Figura 114. Diferencias finitas en una celda y su flujo asociado



Fuente: Tippens, (2001).

MODFLOW resuelve, para un incremento de tiempo, un enorme sistema de ecuaciones lineales, tomando como datos de partida los niveles iniciales de cada celda, y siendo los resultados los niveles finales en cada celda. Esos niveles finales los considera como niveles iniciales para el siguiente incremento de tiempo.

Como descripción general de este software se puede mencionar que es capaz de abordar simulaciones del flujo de aguas subterráneas en tres dimensiones, las cuales en conjunto con una serie de paquetes que posee el programa, también, permite abordar factores ambientales de transporte de contaminantes.

13.7 Paquetería de MODFLOW

MODFLOW (Waterloo Hydrogeologic, 2015), proporciona al usuario las siguientes paqueterías:

MODFLOW Acumulación de flujo y dirección.

MODPATH que describe la trayectoria descrita por las partículas de fluido que le hayan indicado

ZONEBUDGET calcula el balance hídrico de cada zona que establezcamos dentro del modelo

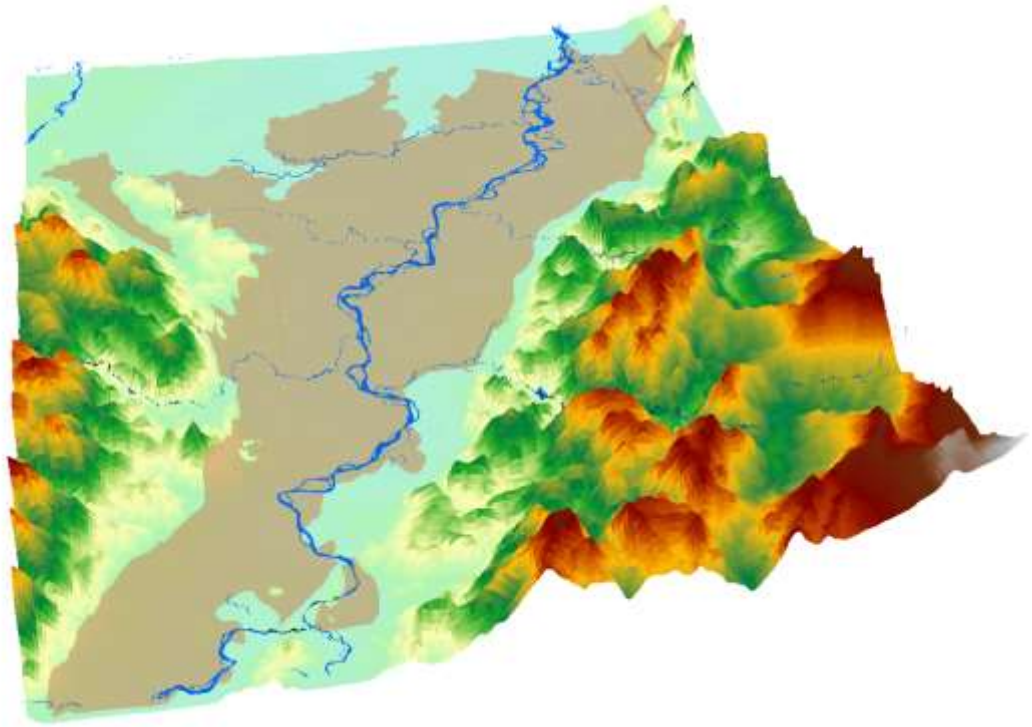
MT3D que calcula el transporte de solutos.

Para el ejercicio de este documento, se utilizó la paquetería MODFLOW.

13.7.1 Límite de área de estudio

El límite del área de estudio hace relación al 51% del área total del acuífero del sur del Tolima ver Figura 115.

Figura 115. Área de estudio para la construcción del modelo



Fuente: Elaboración propia. Proagua, 2018.

Figura 116. Área de inventario de usuarios

FID	Shape *	TIPO_PUNTO	PROFUNDIDA	NIVEL_ESTA	PH	CONDUCTIVI	TEMPERATUR	CAUDAL_H
280	Point	Aljibe	6	2.4	7.1	756	27	-0.019259
1144	Point	Pozo	30	3.7	7.1	345	24	-0.019074
232	Point	Aljibe	10	3.6	7.6	378	28	-0.018566
2263	Point	Aljibe	7	1.9	7.2	674	27	-0.01912
681	Point	Aljibe	10	6.5	8	576	28	-0.018102
2211	Point	Aljibe	15	1	7.5	542	25	-0.017037
2212	Point	Aljibe	8	6	7.4	146	26	-0.017037
2352	Point	Aljibe	7	3.9	7.8	214	26	-0.017037
286	Point	Aljibe	6	0.6	7.4	866	28	-0.016944
1867	Point	Aljibe	5	0.5	7.2	768	22	-0.016436
2188	Point	Aljibe	4	2	7.4	418	25	-0.016086
2291	Point	Aljibe	16	3	7.6	798	27	-0.016042
8	Point	Aljibe	12	5.42	7.8	758	28	-0.015972
9	Point	Aljibe	7	2.5	7.3	636	26	-0.015972
55	Point	Aljibe	12	3.1	8.1	457	27	-0.015972
397	Point	Aljibe	20	6.3	6.5	1107	27	-0.015972
1456	Point	Aljibe	9	0.2	7.4	629	25	-0.015972
2033	Point	Aljibe	13	5	7	366	25	-0.015972
2230	Point	Aljibe	8	2.5	7.4	164	25	-0.015972
2326	Point	Aljibe	8	2.2	8.2	388	27	-0.015972
2350	Point	Aljibe	8	6.5	7.8	234	28	-0.015972
1898	Point	Aljibe	6.8	1	7.8	576	22	-0.01537
2	Point	Aljibe	11	3.75	7.2	229	24	-0.014967
525	Point	Aljibe	7	3	5.8	924	27	-0.014967
1531	Point	Aljibe	14	6	7.9	901	27	-0.014967
2962	Point	Aljibe	7	3	6.7	654	26	-0.014967
793	Point	Aljibe	3	1.2	7.8	294	28	-0.014858
1480	Point	Jagüey	1.2	0.3	7.3	258	27	-0.014575
806	Point	Aljibe	14	10	8	388	28	-0.013943
1491	Point	Aljibe	12	3	7.2	410	28	-0.013943

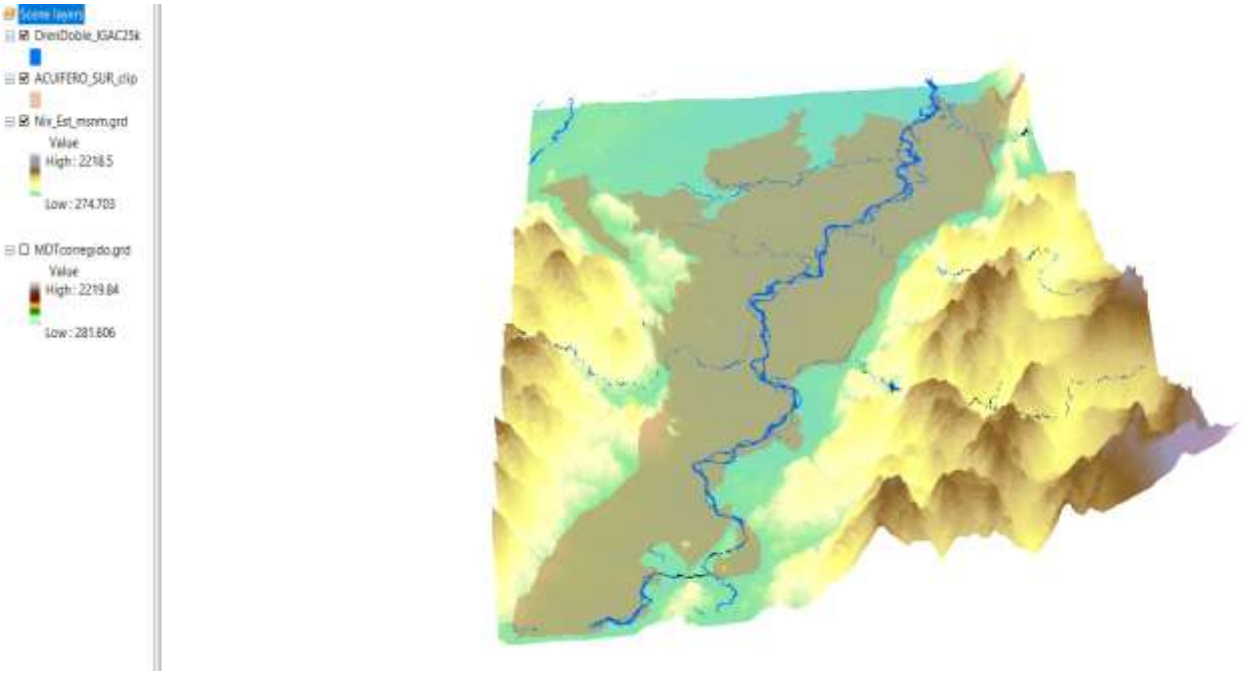
Fuente: Elaboración propia. Proagua, 2018

Esta área de estudio es directamente proporcional al área inventariada con el propósito de manejar datos del inventario como niveles estáticos y caudales ver Figura 116. También se realizó un analices de datos, con el propósito de depurar elementos que generan incertidumbre, valores atípicos y sistemas de captación que no aplican al modelo, como jagüeyes y sistemas de captación de agua superficial.

13.7.2 Modelo digital de niveles estáticos

Hace relación a la diferencia del MDT y los valores de niveles estáticos levantados en campo. Ver Figura 117.

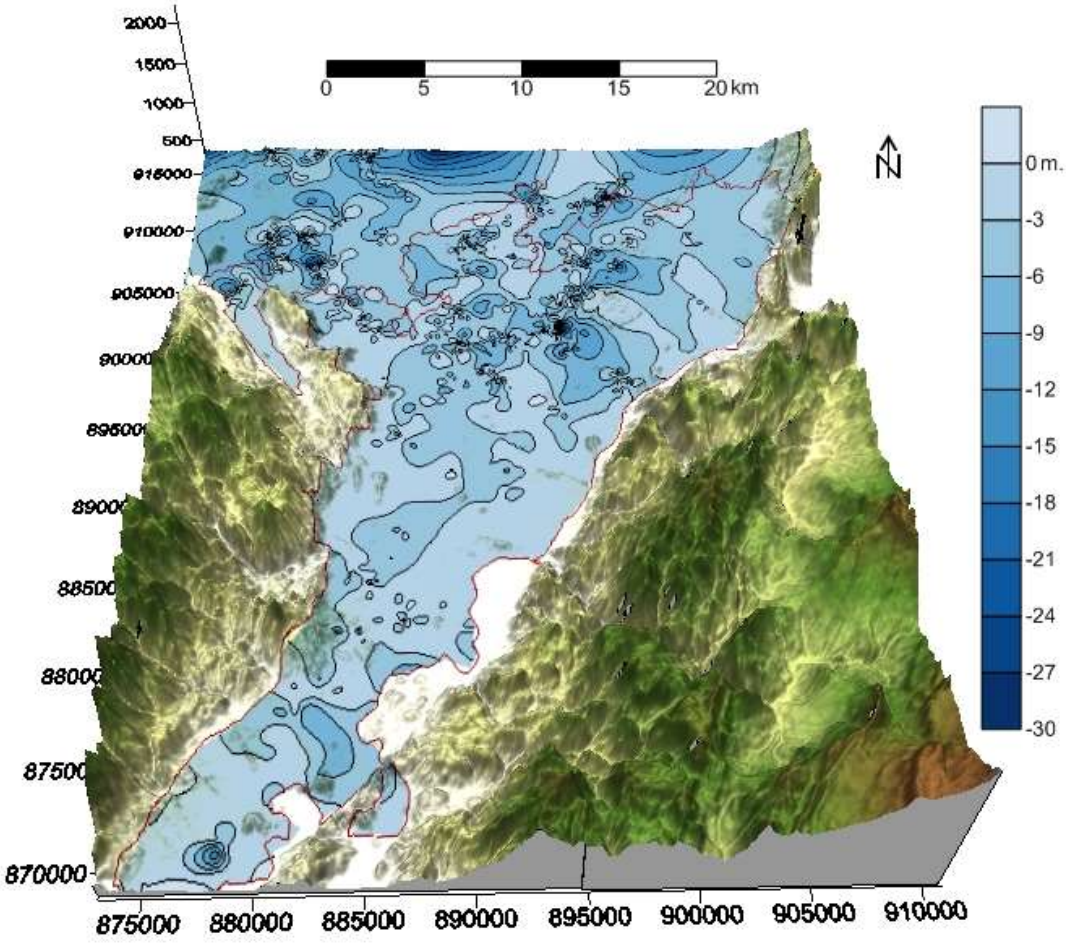
Figura 117. Modelo digital niveles estáticos



Fuente: Elaboración propia. Proagua, 2018

Esta información es necesaria con el propósito de interpretar el abatimiento en la zona de interés. Para este concepto se ilustra en la siguiente figura:

Figura 118. Abatimientos en la zona de estudio



Fuente: Elaboración propia. Proagua, 2018.

Como muestra la Figura 118, la zona de mayor abatimiento se encuentra localizada al noroccidente del acuífero, con presencia de valores hasta de -30 msnm, esto es directamente proporcional a los niveles estáticos encontrados en campo, donde la población tiene que excavar a una mayor profundidad comparado con los usuarios en la parte sur del acuífero.

13.7.3 Modelo de precipitación

Se utilizó el modelo de precipitación generado a partir del estudio hidrológico realizado por PROAGUA. Ver Figura 119. Modelo de precipitación anual

Figura 119. Modelo de precipitación anual

Fuente: Elaboración propia. Proagua, 2018

13.7.4 Registro litológico pozo Chenche Soleado

Para la construcción del perfil litológico en pro del ejercicio del ModFlow, se realizó una interpretación de muestras generadas del proceso de perforación de un pozo en la vereda de Chenche Soleado, ver Figura 120, jurisdicción del municipio de Purificación, como resultado de este análisis se concluyó la siguiente información en la Figura 120.

Figura 120. Ubicación de punto de muestreo pozo Chenche Soleado

Fuente: Elaboración propia. Proagua, 2018

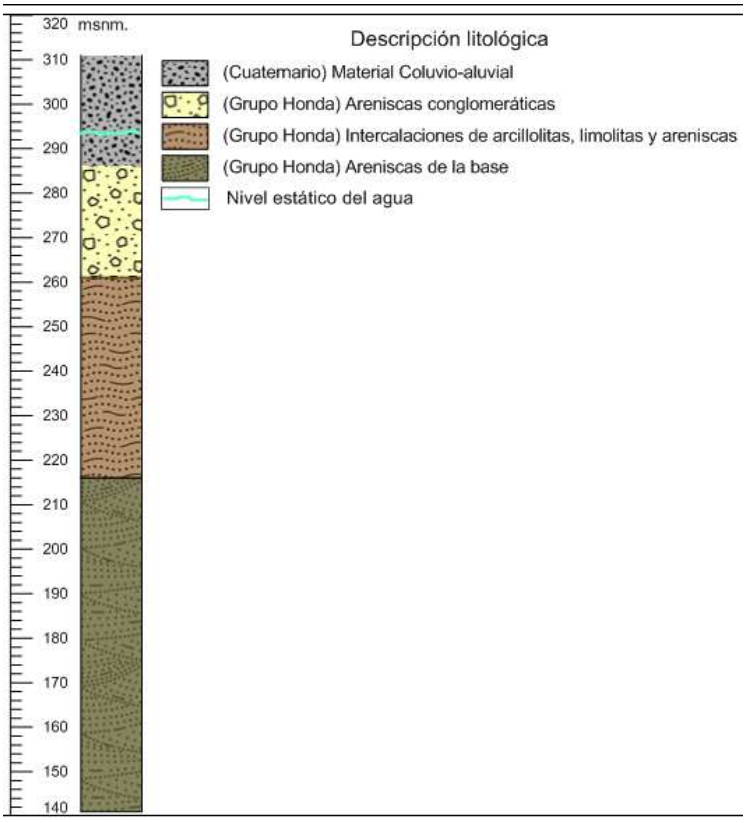
Tabla 138. Unidades estratigráficas

LITOLOGÍA	Kx,y (m/s)	Kz (m/s)	Referencia
(Cuaternario) Material Coluvio-aluvial	0.00001	0.00001	Flores, (2007 & 2006)
(Grupo Honda) Areniscas conglomeráticas	0.00005	0.00004	Flores, (2007 & 2006)
(Grupo Honda) Intercalaciones de arcillolitas, limolitas y areniscas	0.000005	0.000003	Flores, (2007 & 2006)
(Grupo Honda) Areniscas de la base	0.0000001	0.0000001	Flores, (2007 & 2006)

Fuente: Elaboración propia. Proagua, 2018

El propósito de conocer cada una de las unidades estratigráficas, es identificar la composición y dependiendo de ella, conocer los valores de conductividad hidráulica en cada unidad.

Figura 121. Perfil litológico pozo Chenche Soleado



Fuente: Elaboración propia. Proagua, 2018.

Como se observa en la Figura 121, en los primeros 15 m de profundidad predomina Arena cuarzosa con presencia de líticos oscuros, posiblemente chert, tamaño de grano: arena fina a

muy fina, color gris verdoso claro, presenta algunos granos de moscovita, los minerales predominantes son: cuarzo 10%, chert 15% y otros 5%, posteriormente, a 33 m de profundidad se presenció materiales Areniscas con tamaño de grano de arena media a gruesa de color pardo con tonalidades rojizo claro, compuesta de cuarzo, chert y líticos sedimentarios, color gris claro, pardo rojizo, existe una fracción de arena muy fina a limos color gris claro, subredondeados a subesfericos, posteriormente, a una profundidad de 52 m se presenció Areniscas de tamaño de grano que varía desde arena muy fina a fina con intercalaciones de arenisca de tamaño de grano grueso a muy grueso, forma de minerales son tabulares, angulares a subredondeados, composicionalmente predominan los líticos sedimentarios de color pardo rojizo (limolitas, areniscas), chert, lodo de perforación 50%, areniscas de tamaño de grano finas a muy finas 35% y areniscas de tamaño de grano medio a grueso 15%, la unidad más profunda a más de 80 m se observó Areniscas de tamaño de grano que varía desde arena muy fina hasta arena media, cristales son preferencialmente angulosos a subangulosos. El operario manifiesta que la muestra está saliendo molida debido al cambio de broca en la perforación, indica además que el material es muy resistente y por ello se tardaron cerca de 12 horas en atravesar el estrato.

13.8 Resultados

Una vez definida las condiciones de entrada del modelo, se procede a montar la información en el software con el propósito de construir y correar la información que se tiene, para esto fue necesario procesar los modelos, construir las grillas de 120 x 120, con proyección magna sirgas.

El propósito es simular de manera estacionaria la dirección de flujo de la carga hidráulica del acuífero a través de estado temporal, bajo un régimen de extracción de agua subterránea, dada una distribución inicial de carga, condiciones de frontera y parámetros hidráulicos.

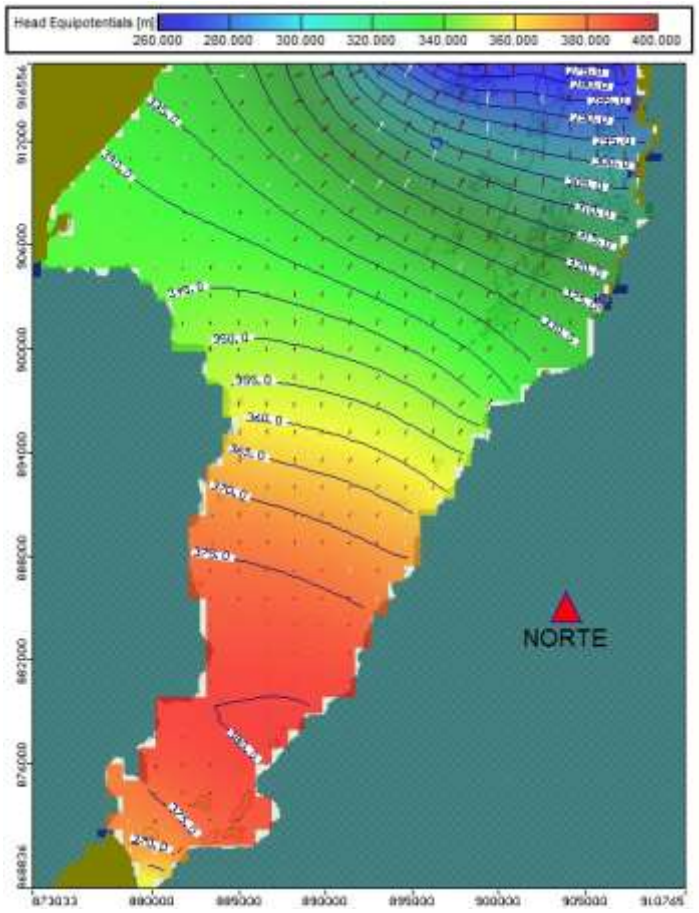
Una vez definida las condiciones de frontera y la inactivación de celdas, el ModFlow arroja los siguientes resultados:

Figura 122. Niveles estáticos y comportamiento de flujo

Fuente: Elaboración propia. Proagua, 2018.

En la Figura 122 se observa el comportamiento del flujo en dirección sur – norte, una leve transición de abatimiento, no existe una continuidad en los niveles estáticos y a medida que se acerca a la zona norte de acuífero se profundiza los sistemas de captación.

Figura 123. Líneas equipotenciales y dirección de flujo



Fuente: Elaboración propia. Proagua, 2018.

En la Figura 123 se aprecia el aumento de líneas equipotenciales hacia el norte del acuífero, alcanzando valores entre 340 y 280 metros y dirección de flujo hacia valle del Magdalena.

14 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

14.1 Conclusiones

Los participantes en general temen que, con este nuevo proyecto, la Corporación les genere impuestos por el uso de los aljibes, a pesar que, durante los acercamientos y realización de los talleres, el personal de PROAGUA aclaró que el objetivo principal del proyecto es mantener y mejorar las condiciones del recurso hídrico en la zona, pero a la vez la comunidad es consiente que la calidad del agua que consumen no es la adecuada. Por esto considera que es importante que los actores gubernamentales ofrezcan estrategias, programas que permitan una buena calidad del agua.

Frente a la problemática ambiental que presenta los municipios del área de influencia del Acuífero en la falta de saneamiento básico, mal manejo de cultivos, inadecuado manejo de residuos sólidos, etc., es importante involucrar a otros actores de Instituciones, veedores de la conservación de los recursos naturales y efectuar un seguimiento e igualmente a las empresas mineras en los municipios del Guamo con la explotación en el río Luisa y Ortega con la explotación del río Cucuana, ya que la comunidad ha denunciado varios casos de contaminación de la cual no han sido escuchados.

Las comunidades de las diferentes veredas presento una buena empatía y aceptación con el equipo de trabajo, lo que permitió que durante el desarrollo de esta primera fase del proyecto se cumpliera con el objetivo de identificar el entorno socioeconómico, cultural, ambiental y participativo presente de su localidad.

En cada escenario de la relación de los actores sociales se visualiza la falta de acompañamiento, la relación apática de la comunidad ya que consideran que tiene vulnerados sus derechos a un ambiente sano, a la participación y toma de decisión de los proyectos ya que no están de acuerdo y consideran que no se han beneficiado de las regalías de la empresa minera lo cual ha dificultado un desarrollo en la comunidad.

Las comunidades del área de influencia del acuífero han participado en programas de reforestaciones, pero refieren que las especies nativas no son apropiadas al suelo, ni hay un seguimiento de las instituciones de los programas por lo cual no hay recuperación de los recursos.

Los participantes convocados a los encuentros como socialización, caracterización de la zona e identificación de problemas, mostraron una actitud de empatía, ya que consideran que este proyecto beneficia a la comunidad y permite continuar conservando de una manera sostenible este recurso hídrico.

Los diferentes actores sociales de los municipios de Coyaima, Natagaima, Ortega, Guamo, Prado, Purificación y Suarez que participaron en la fase de socialización de la propuesta y diagnóstico, manifestaron su compromiso, apoyo y participación en las actividades a realizar dentro del proyecto.

En la fase de socialización y diagnóstico participativo del proyecto se logró una alta convocatoria de los actores sociales ubicados en el territorio área de influencia del acuífero.

Al realizarse la socialización en los municipios de Guamo y San Luis la comunidad expreso su descontento debido a la experiencia negativa con CORTOLIMA, esto derivo rechazo al proyecto.

Se reconoce que en el área de influencia del municipio del Guamo existían numerosas fuentes hídricas, pero por causa de la explotación minera han disminuido notoriamente, especialmente el rio Luisa.

La falta de acompañamiento de funcionarios de la Corporación en las actividades realizadas por PROAGUA dentro de la ejecución de esta primera fase, fue una de las situaciones negativas para el desarrollo de las actividades.

Con la aplicación de la metodología del árbol de problemas aplicado con las comunidades área de influencia del proyecto, se logró conocer en la priorización de problemas que la falta de agua potable para las comunidades de la zona es una necesidad primordial.

Con información cartográfica suministrada por CORTOLIMA y la información levantada en campo (Inventario de usuarios del recurso hídrico y análisis de muestras en la perforación del pozo de Chenche Soleado) se pudo simular en el software ModFlow las condiciones hidráulicas a través del régimen litológico construido y las condiciones de demanda del acuífero del sur del Tolima.

La experiencia de simulación y manejo del software se realizó una presentación teórica y práctica durante los días 17 y 18 de octubre del presente año, en compañía de los profesionales de Geología de la dirección de Planeación, con el propósito de interactuar con el software y conocer las bondades del mismo.

Durante la práctica que se realizó el día 18 de octubre de 2018, se pudo experimentar la gran importancia de preparar los insumos que se desean modelar, el software es practivo y muy informativo siempre y cuando se tenga claridad el objetivo de la construcción del modelo y los insumos.

El modelo puede llegar a ser más robusto y práctico si cuenta con información como, basamento del acuífero del sur, un estudio piezométrico, puntos de muestreo, direcciones de contaminante, en fin, todo enfocado a las necesidades de planeación y gestión del recurso hídrico.

Para conocer las condiciones de recarga e implementarlas en el modelo, se recomienda unas campañas de medición de niveles estáticos.

Se debe tener en cuenta que en la zona donde se desarrollan cultivos de arroz, dada las características de los sistema productivo, la infiltración de agua puede demorarse más de los que se demora en otras zonas del acuífero.

El uso del modelo hidrológico TETIS versión agregada, presento un buen ajuste en lo referente a los procesos de calibración y validación de las cuencas de los Ríos Chenche y Anchique.

Para la modelación hidrológica se utilizó información a nivel diaria de las estaciones ubicadas en la zona de influencia del Acuífero del Sur; las variables usadas para la aplicación del Modelo TETIS versión agregada correspondió a la precipitación, temperatura y caudal de registrado por las estaciones hidrométricas ubicadas en las cuencas que se ubican al interior del área de estudio.

Debido a la falta de información de hidrométrica (caudales), de las Quebradas Hilarco y Guaguarco, se procedió a construir la serie de datos de caudal durante el periodo de tiempo 1997 al 2015, a partir de los parámetros de calibración de la cuenca del Rio Chenche, esto en razón a que esta cuenca es la más grande de las cuencas que se ubican al interior del polígono Acuífero del sur; además de los anterior es importante resaltar que las características atmosféricas y físicas de las cuencas de las Quebradas Hilarco y Guaguarco, son muy similares a las del Rio Chenche.

El comportamiento hidrológico de las cuencas simuladas, muestra que las mismas presentan una relación entre el flujo superficial y la zona subterránea, los flujos internos de los diferentes tanques. Almacenamiento capilar, flujo superficial, flujo sub-superficial y flujo subterráneo, mostrándose claramente que se tiene las tres salidas de flujo (Escorrentía directa, flujo sub-superficial y flujo base), y se mantiene agua en los tanques del modelo.

La relación Rio Vs acuífero, según el modelo presenta una buena compatibilidad, los flujos bases mostrados en la etapa de simulación mostraron que los cuerpos de agua nunca pueden

flujo superficial, lo cual indica que la recarga es constante hasta en periodos de baja precipitación.

Aunque la zona es bastante seca y la vegetación existente en la zona no es muy densa, los tanques de flujo subterráneo no presentan déficit, lo cual indica que el nivel de abatimiento del acuífero no confinado se mantiene a lo largo del tiempo.

Teniendo en cuanta que el Rio magdalena hace parte del Acuífero sur del Tolima y como quiera que se intentó modelar este tramo, se informa que el proceso de modelación no pudo llevarse a cabo, esto en razón a que, aunque se contó con información hidrométrica y climatológica del tramo del río, los parámetros de calibración nunca presentaron un buen ajuste, esto podría relacionarse a que la información captada por las estaciones hidrométricas Purificaron 1 y Angostura ubicadas sobre el Rio magdalena, no es la mejor.

14.2 Recomendaciones

Crear una mesa de trabajo donde participen todos los actores sociales que intervienen en el área ambiental, con el fin de generar compromisos y poder articular sus funciones que beneficie la conservación de los recursos naturales de acuerdo a la normatividad.

Generar estrategia frente a la disposición adecuada de las basuras mediante programas de recolección, capacitación a la comunidad y manejo y uso de reciclajes.

Que CORTOLIMA realice más acompañamiento en la ejecución de los proyectos sobre todo cuando en estos hay un alto grado de participación de las comunidades.

Es importante aunar esfuerzos institucionales y de la sociedad civil, continuar con la ejecución de la segunda fase del plan, e implementar las estrategias diseñadas de participación y comunicación, dando cumplimiento a las expectativas que se dejaron en las comunidades en esta primera fase.

Es importante mantener la línea de acción que garantice un buen nivel de participación en las actividades futuras.

Mantener la comunicación con los líderes de cada uno de los municipios que hacen parte del acuífero para garantizar la participación activa de sus comunidades.

15 BIBLIOGRAFÍA

Acosta, J., Caro, P., Fuquen, J., & Osorno, J. (2002). *Geología de la Plancha 303.* INGEOMINAS.

ANH. (2010). *Colombia: The perfect environment for Hidrocarbons*. Recuperado el 04 de 04 de 2018, de Open Roub 2010: http://ronda2010.anh.gov.co/region.php?id=51&lang=

Allen, R., Pereira, L., Raes, D., & Smith, M. (2006). Evapotranspiración del cultivo Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. Estudio FAO Riego y Drenaje. https://doi.org/M-56.

Amaya, R. (2010) Estudio de uso combinado de fuentes de agua superficial y subterránea para el suministro de agua potable para el municipio de Turbo, Antioquia. Maestría tesis, Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín. – Disponible en: http://www.bdigital.unal.edu.co/1887/#sthash.JtAUTs4j.dpuf

Arroyo, L & Yus, M. (2007). Los cien errores de la comunicación en las organizaciones. ESIC Editorial.

Avilés E. 2005. Estadísticas: Contrastes paramétricos y no paramétricos, Estadística no paramétrica. En línea. Consultado en sep. de 2014. Recuperado de: www.pucpr.edu/facultad/ejaviles /ED800Files.

Baker, L., & Ellison, D. (2008). Optimisation of pedotransfer functions using an artificial neural network ensemble method. Geoderma, 144(1-2), 212-224.

Barrero, L& Vesga, O.(1976). *Geología de la Plancha 226 Lbano; Escala 1:100.000.* INGEOMINAS.

Birkle P., V. Torres Rodríguez E. & González Partida.. (1998). The water balance for the Basin of the Valley of Mexico and implications for future water consumption: Hydrogeology Journal.

Budyco, M. (1974). Climate and life. Academic Press. N.Y., 508 pp.

Bussi, G. (2013). Implementation of a distributed sediment model in different data availability scenarios.

Caballero, V., Parra, M., & Mora, A. (2010). Levantamiento de la Cordillera Oriental de Colombia durante el Eoceno Tardío-Oligoceno Temprano: proveniencia sedimentaria en el Sinclinal de Nuevo Mundo, Cuenca Valle Medio del Magdalena. *Boletín de Geología, Vol. 32, N° 1*, 45-77.

Cabrera, J. (2011). Modelos hidrológicos, Universidad Nacional de Ingenieria, Facultad de Ingenieria Civil, Peru.

Caicedo, J., Terraza, R., & Acosta, J. (2000). *Geología de la Plancha 264 Espinas; Escala 1:100.000.* INGEOMINAS.

Carvajal, C., Fuquen, J & Gómez, L. (1993). *Geología de la Plancha 282 Chaparral: Escala 1:100.000.* INGEOMINAS.

Carvajal,, Y. (2004). El uso de funciones ortogonales empíricas y análisis de correlación canónica en el estudio de la variabilidad Hidrometeorológica. Aplicación al Valle del Cauca – Colombia. Tesis de Doctorado Universidad Politécnica de Valencia – España.

Castro, D. (2013). Análisis de tendencia para la precipitación pluvial anual y mensual en el departamento del Valle del Cauca. Cali: Universidad del Valle & COLCIENCIAS. 66p.

Castro, L., & Carvajal, Y. (2010). Análisis de Tendencia y Homogeneidad de Series Climatológicas. Ingeniería de Recursos Naturales y del Ambiente, 15-25.

Chow, V., Maidment, D., y Mays, L. (1994). Hidrología Aplicada. Santafé de Bogotá, Colombia: Mcgraw-Hill Interamericana.

Corporación Autónoma Regional De Cundinamarca – CAR (2007). Actualización de los Módulos de Consumo Agrícola en las Cuencas de Tercer Orden de la Jurisdicción CAR.

Cossio O., Rodríguez G., & Rodríguez, P. (1994). *Memoria explicativa: Geología de la Plancha 283 Purificación; Escala 1:100.000.* Ibagué: INGEOMINAS.

Cossio O., Rodríguez G., & Rodríguez, P. (1995). *Geología de la Plancha 283 Purificación; Escala 1:100.000.* INGEOMINAS.

Dávila, M. (2011). *Modelación distribuida con " Tetis" dentro del marco del proyecto comparación de modelos distribuidos del NWS de EEUU aplicado en la" Región de Oklahoma". Universidad Politécnica de Valencia*. Retrieved from https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/15748/Tabajo Fin de Master_Virginia Davila.pdf?sequence=1%0Ahttp://www.riunet.upv.es/handle/10251/15748.

De La Orden, J.A., López-Geta, J & Murillo, J. (2003). Experiencias de recarga artificial de acuíferos realizadas por el IGME en acuíferos detríticos. Boletín Geológico y Minero. Volumen 114, nº 2. I.G.M.E- M. Centrar la recarga artificial de acuíferos, su conocimiento e importancia, en fomento de la divulgación y educación ambiental. Abril – junio 2003.

Díez, S. (2006). Técnicas de comunicación: La comunicación en la empresa. Ideas propias Editorial.

Escamilla, V., Puertes, C., & Francés, F. (2017). Capacidades del modelo hidrológico TETIS versión 9, 1–15.

FAO. (1990). The community toolbox. The idea, methods and tools for participatory assessment, monitoring and evaluation in community forestry. Community Forestry Field Manual 2.

FAO. (2006). Estudio 56. Evapotranspiración del cultivo Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. Roma.

Fries, A., Rollenbeck, R., Nauß, T., Peters, T., & Bendix, J. (2012). Near surface air humidity in a megadiverse Andean mountain ecosystem of southern Ecuador and its regionalization. Agricultural and forest meteorology, 152, 17-30.

Fundación Española para la Ciencia y Tecnología (FECYT). (2004). Meteorología y Climatología. Recuperado de: https://www.fecyt.es/es/publicacion/unidad-didactica-meteorologia-y-climatologia.

Fundación Profesional para Manejo Integral del Agua – PROAGUA. (2014). Reglamentación del uso de las aguas y aprovechamientos de las corrientes superficiales que hacen parte de las subcuencas de los ríos Sucio y Medina de la cuenca del rio Gualí; en el marco del Convenio 31 de 06 de julio de 2012 suscrito entre el Ministerio De Ambiente Y Desarrollo Sostenible – MADS y la Corporación Autónoma Regional Del Tolima – CORTOLIMA".

Fuquen M., J. A., & Osorno M., J. F. (2002). *Memoria explicativa: Geología de la Plancha 303 Colombia, departamento de Huila, Tolima y Meta.* Bogotá: INGEOMINAS.

Fuquen, J., Rodríguez, G., Cossio, U., & Nuñez, A. (2003). *Geología de la Plancha 302 Aipe; Escala 1:100.000.* INGEOMINAS.

Galvez, J. (2011). Cartilla Técnica: Aguas subterráneas - Acuíferos. *Sociedad Geográfica de Lima*.

GIMHA. 2014. Descripción del modelo conceptual distribuido de simulación hidrológica TETIS. Universitat Politècnica de València, Spain.

Gohl E. Et al. (1993). Pequeña guía al seguimiento participativo del impacto "PIM". FAKT-Stuttgart, Alemania.

Gorgas, J., Cardiel, N., & Zamorano, J. 2011. ESTADÍSTICA BASICA para estudiantes de Ciencias. Madrid España: Universidad Complutense.

Grupo funcional de perforación. (1999). *Construccion de un pozo para explotación de aguas subtrráneas en Chenche-Socorro-Los Guayabos, municipio de Coyaima.* Bogotá: Ingeominas.

Hartmann, B. (1996). Sciocultural constrainsts to land management decisions: the case of bofedal restoration in Bolivia. Tropical Resources Institute News Vol 15(1), Yale, USA.

Hidroplan & Corporación Autónoma Regional De Cundinamarca - CAR (1993). Estudio para la determinación de los Módulos de consumo para Beneficio Hídrico. Bogotá, D.C.

Hincapie, G., Huguett, A. (2004). *Atlas de Aguas Subterráneas de Colombia Plancha 5-14.* Bogotá: INGEOMINAS.

Hitinayake H. Et al. (1994). The use of a knowledge-based systems approach for the incremental improvement of traditional agroforestry practices. UP-OFI Workshop, Sri Lanka.

IDEAM. (2001). Colombia, Primera Comunicación Nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático; Bogotá, 307 p.

IDEAM. (2014). *Estudio Nacional del Agua.* Bogotá D. C. 2015: 496 páginas.

INGEOMINAS - CAM. (1998). *Estudio Hidrogeológico y Plan de Manejo del Agua Subterránea en el Sector Nororiental de la Cuenca del Río Magdalena en el Departamento del Huila.* Bogotá: Imprenta Nacional.

INGEOMINAS. (1986). *Estudio Geoelectrico en Hato de Iglesias (Ortega) y Papagala (San Luis-Tolima).* Bogotá.

INGEOMINAS. (1999). *Construcción de un pozo para explotación de aguas subterraneas en Chenche, Coyaima.* Bogotá.

INGEOMINAS. (1999). *Estudio del Recurso Hídrico Subterráneo en el sur del Departamento del Tolima.* Bogotá: INGEOMINAS.

INGEOMINAS. (1999). *Estudio del Recurso Hídrico Subterráneo en el sur del Departamento del Tolima.* Bogotá: Imprenta Nacional.

INGEOMINAS. (s.f.). *Memoria explicativa: Geología de la Plancha 282 Chaparral; Escala 1:100.000.* Bogotá: INGEOMINAS.

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales - IDEAM. (2010). Atlas Climatológico de Colombia. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. (M. d. Ambiente., Ed.) Bogotá D. C.

Jaramillo, A. (1989). Relación entre la evapotranspiración y los elementos climáticos. (Nota técnica). Cenicafé, Vol. 40, N3.

Jouravlev, A. (2007). Problemática del Abastecimiento de agua y saneamiento en las ciudades de Ibero América, Diagnóstico y Soluciones, CEPAL, Chile. Banco Mundial. Protección de la Calidad del Agua Subterránea.

Maidment, D. (1993). Handbook of hydrology. McGRAW-HILL, INC. United States of America.

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2014). *Guía metodológica para la formulación de planes de manejo ambiental de.* Bogotá, D.C: Imprenta Nacional de Colombia.

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2014). *Guía Metodológica para la Formulación de Planes de Manejo Ambiental de Acuíferos.*

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2015). *Decreto No. 1076.* Bogotá.

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible - MINAMBIENTE & Fundación Profesional para Manejo Integral del Agua – PROAGUA (2017). Plan de ordenación y manejo de la cuenca del alto de rio Cauca informe de diagnóstico. Popayán, Cauca.

Mojica, J., & Franco, R. (1990). Estructura y evolución tectónica del Valle Medio y Superior del Magdalena, Colombia. *Geología Colombiana*, 41-64.

Monsalve, S. (1995). Hidrología en la Ingeniería. Escuela Colombiana de Ingeniería. Bogotá.

Montoya, J. (2008). *Desarrollo de un modelo conceptual y de producción, transporte y depósito de sedimentos. PhD Tesis. Universidad Politécnica de Valencia*. Retrieved from http://dspace.cc.upv.es/handle/10251/8303.

Nuñez, A., & Murillo, Á. (1982). *Memoria Explicativa: Geología y prospeccion geoquimica de las planchas 244 Ibagué y 263 Ortega del departamento del Tolima, Colombia.* Ibagué: INGEOMINAS.

Nuñez, J. & Verbist, K. (2008). Preparación de datos para el análisis regional de frecuencias: área piloto IV región de Coquimbo, Chile". Informe final. Proyecto realizado en el marco de UNESCO-PHI y del Gobierno de Flandes, Departamento de Ciencias e Innovaciones. La Serena, Chile. En línea. Consultado en marzo de 2018. Disponible en: http://www.cazalac.org/documentos/atlas_sequias/A_Preparacion_de_ Datos_Region_de_Coquimbo.pdf

ONF Andina - CORMAGDALENA. (2007). *Plan de Manejo de la Cuenca del Río Magdalena - Cauca, Segunda Fase.* Bogotá: FLUIDIS.

Organización Meteorológica Mundial – OMM (2011). Guía de prácticas climatológicas N°100. Ginebra, Suiza.

París, G., & U.S.G.S., U. (2000). *Mapa de Fallas y Pliegues Cuaternarios de Colombia y Regiones Oceanicas Adyacentes.* Proyecto Internacional de la Litosfera, Principales Fallas Activas del Mundo.

Paulhus, J. L. H., M. A. Kohler, (1952). "Interpolation of Missing Precipitation Records". Monthly Weather Review, 80 pp., 129-133.

Petijjohn , E. (1973). *Modificado de Petijjohn.* Atlas de Petrologia Sedimentaria.

Quintero, M. (2017). *Metodología para el análisis del riesgo de desastres por inundación en fase de fenómeno de La Niña: Mecanismos de integración a la gestión del riesgo de desastres a nivel territorial.*

Rodríguez, G & Fuquen, M. (1989). *Memoria explicativa: Geología y prospección geoquímica de la Plancha 302 Aipe, Huila - Colombia; Escala 1:100.000.* Ibagué: INGEOMINAS.

Rodríguez, R. (1996) Metodología de Extensión Agrícola Comunitaria para el Desarrollo Sostenible. Plan Internacional-IICA, San Salvador, El Salvador

Roncancio, J., & Martínez, M. (2011). *Geology and hidrocarbon potential regional of Colombia-Upper Magdalena Basin.* Medellin: Universidad Eafit.

San Clemente. (2009). Taller: "Manejo de Aguas Subterráneas". *Gestió Integral del Recurso Hídrico "Aguas Subterráneas".* Bogotá: Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial.

Sarmiento. (2002). *Cartas cronoestratigráficas Mesozoico-Cenozoico.*

Sanz, E & Menénedez, I. (2014). Hidráulica Subterránea. 2da Edición. Ibergarceta Publicaciones, S.L., Madrid.

Servicio Geológico . (2007). *Mapa Geológico De Colombia.* Bogotá: INGEOMINAS.

Scoones, I. (1994). Beyond farmer first. Rural people´s Knowledge, agricultural research and extension practice. Intermediate Technology Publications, London, Gran Bretaña.

Shapiro, S., & Wilk, M. (1965). An Analysis of Variance Test for Normality (Complete Samples). Biometrika, 52(3/4), 591-611. doi:10.2307/2333709

Sheskin, D. (1997). Handbook of parametric and nonparametric statistical procedures. Western Connecticut State University. CRC Press.

Silva, Pérez. (2003). Modelo Evolutivo del Acuífero del Valle de Puebla. Facultad de Ingenieria, Tesis de Licenciatura, México.

Stallman, R. (1971). Aquifer-Test Design, Observation, and Data Analysis. Applications of Hydraulics. U.S. Geological Survey.

Stewart S. Et al. (1995). Participatory rural appraisal: abstracts of sources. An annotated bibliography. IDS Development bibliography 11. Institute of Development Studies, Brighton, Sussex, Gran Bretaña.

Tamil Nadu A.U. (1992). Participatory Rural Appraisal (PRA) for agricultural research at Aruppukottai, Tamil Nadu. Centre for Agricultural and Rural Development Studies,

Tamil Nadu Agricultural University & International Institute for Environment and Development (IIED). Coimbatore, India.

Tecnológicos, S. d. (2002). *Prospección geoléctrica para agua subterránea en la vereda tovar del municipio del Guamo- Tolima.* Bogotá.

Terraza, R., Jiménez, M., Caicedo, J & Morales, C. (2002). *Memoria explicativa: Geología de la Plancha 264 Espinal; Escala 1:100.000.* Bogotá: INGEOMINAS.

Tippens, P. (2001). Física, conceptos y aplicaciones. 7 rd ed, Southern Polytechnic University. McGraw-Hill Interamericana, United States of America.

Toussaint, J. (1999). Evolución geológica de colombia durante el Cenozoico. 140-169.

Turc, L. (1954). The water balance of soils. Relation between precipitation, evaporation and flow. Ann. Agron, 5, 491-569.

UNESCO. (1971). Scientific frametmrk of world water balance. Paris, UNESCO. 27p. (Technical papers in hydrology, No.7).

Uribe, I. (2010). Guía Metodológica para la Selección de Técnicas de Depuración de Datos. Medellín: Universidad Nacional de Colombia.

Water Management Consultants Ltd. (1998). Introducción a la práctica a los modelos de aguas subterráneas utilizando MODFLOW. Department of international development. República de Colombia. INGEOMINAS CVC CORALINA. Proyecto de contaminación de aguas subterráneas. CNTR 97 2537.

Zinck, J. (2012). *Geopedología, Elementos de geomorfología para estudios de suelos y de riesgos naturales.* Enschede, The Netherkands: Faculty of Geo-Information Science and Earth Observation, ITC.